

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

**Fakulta strojní
Katedra strojírenské technologie**

**Návrh a realizace svařovacího pracoviště pro
mechanizované svařování aluminidu železa metodou
141**

**Proposal and realisation of a welding workplace for mechanical welding
of iron aluminide using method 141**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Jindřich Tauchman

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program M2301 – Strojní inženýrství

Strojírenská technologie
zaměření strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské technologie
Oddělení strojírenské metalurgie

Návrh a realizace svařovacího pracoviště pro mechanizované svařování aluminidu železa metodou 141

**Proposal and realisation of a welding workplace for mechanical welding
of iron aluminide using method 141**

Jindřich Tauchman

KSP – SM – 547

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Heinz Neumann, CSc. – *TU v Liberci*

Konzultant diplomové práce: doc. Ing. Heinz Neumann, CSc. – *TU v Liberci*

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	74
Počet tabulek	5
Počet obrázků	54

Datum: 5.6.2009

ORIGINÁLNÍ ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

A N O T A C E

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

**Katedra strojírenské technologie
Oddělení strojírenské metalurgie**

Studijní program: M2301 – Strojní inženýrství

Diplomant: Jindřich Tauchman

Téma práce: **Návrh a realizace svařovacího pracoviště pro
mechanizované svařování aluminidu železa metodou 141**
**Proposal and realisation of a welding workplace for mechanical welding
of iron aluminide using method 141**

Číslo DP: **KSP – SM – 547**

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Heinz Neumann, CSc. – *TU v Liberci*

Konzultant diplomové práce: doc. Ing. Heinz Neumann, – *TU v Liberci*

Abstrakt:

V diplomové práci je proveden návrh a realizace mechanizovaného svařovacího pracoviště pro svařování metodou 141 podle ČSN EN ISO 4063, určené především pro svařování aluminidů železa. Nové pracoviště je vybaveno zařízením pro ohřev svařovaných polotovarů (především plechů) do teploty 500 °C s možností regulace výkonu topení a rychlosti ohřevu polotovarů. Svařovací pracoviště je doplněno monitorovacím zařízením WeldMonitor 3.5, které provádí registraci svařovacích parametrů jako jsou: svařovací proud, napětí, množství dodávaného plynu, rychlost pojezdu hořáku (po doplnění snímače). Umožňuje také záznam průběhu teploty celkem v šesti zvolených místech. Diplomová práce je dále zaměřena na ověření funkčnosti realizovaného pracoviště při svařování zkušebních svarů aluminidu typu Fe₃Al.

Byl sledován vliv vybraných parametrů svařovacího procesu na kvalitu svaru, zejména vliv na geometrii svarové lázně a celistvost svaru. Svary byly hodnoceny vizuálně, pomocí kapilární zkoušky a metalografickým rozbořem.

Abstract:

The aim of this thesis was to create and adjust a device for heating and mechanical iron aluminide welding using method 141. First, it was necessary to familiarise oneself with a welding method designated as 141 according to a norm ČSN EN ISO 4063 as well as with technological features of iron aluminides. Based on this knowledge we had to prepare a device for heating and regulation up to 400 degrees Centigrade. We created an entirely new workplace which met our requirements for the speed and mentioned preheating. The welding process of the test samples was monitored by Weld Monitor system which recorded current, voltage and gas flow. The speed of welding was observed on a display of a frequency inverter (no sensor for detecting the speed was connected to the computer). We investigated the weldability of aluminide and the effect of varied parameters on the quality of the welded joint. We aimed to create welded joints without defects on various thicknesses of the tested material and prepare reference material for other tests. We tried to make parameters for many thicknesses of the material. We observed the effect of the parameters on the geometry of the welded joint bath and the integrity of the welded joint. The welded joints were assessed visually and measured by a penetration test.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce a mému konzultantovi doc. Ing. Heinzu Neumannovi, na jehož zkušenosti jsem mohl při své práci navázat a který mi poskytl významnou pomoc při určování experimentálních parametrů a pořizování záznamu.

Dále bych chtěl poděkovat svému otci panu Jindřichu Tauchmanovi, který mi umožnil ve své firmě vyrobít mechanické části zařízení, a nástrojaři panu Zdeňku Mejznarovi který dle mé výkresové dokumentace vyrobil některé komponenty.

Velký dík patří též panům Ing. Františku Huňkovi a Ing. Jiřímu Huňkovi z firmy METOP ELEKTRO s.r.o a elektrikáři panu Miloslavu Hrstkovi, bez jejichž cenných rad a pomoci bych nemohl provést praktickou elektroinstalaci na experimentálním zařízení.

Poděkování patří i mé rodině, bez jejíž pomoci bych nemohl studia dokončit.

Místopřísežné prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 5. června 2009

.....

Jindřich Tauchman

Na Drahách 234

514 01 Jilemnice

Obsah

1.	Úvod.....	10
2.	Teoretická část.....	12
2.1	Princip svařování metodou 141	12
2.1.1	Elektrický oblouk.....	14
2.1.2	Svařování stejnosměrným proudem.....	15
2.1.2.1	Svařování impulsním proudem.....	15
2.1.3	Svařování střídavým proudem	17
2.2	Zdroje pro svařování metodou TIG/WIG	18
2.2.1	Požadavky z hlediska zapojení	19
2.2.2	Dovolený zatěžovatel.....	19
2.2.3	Statická charakteristika svařovacího zdroje TIG	20
2.2.4	Části zdroje	21
2.3	Ochranná atmosféra pro svařování TIG/WIG	23
2.3.1	Argon	23
2.3.2	Helium	24
2.3.3	Směs argon helium.....	25
2.3.4	Směsi argonu a vodíku.....	25
2.3.5	Směsi argonu s dusíkem	25
2.4	Problematika svařování hliníkových slitin z pohledu metalurgie.....	26
2.5	Aluminidy.....	26
2.5.1	Nové postupy zpracování.....	28
2.5.2	Dosud realizované zkoušky	28
2.6	Deformace ve svařování	30
2.6.1	Důsledky napětí ve svařenci	30
2.6.2	Snížení vlivu deformace během svařování	31
2.6.3	Klasifikace napětí ve svaru	31
2.6.3.1	Podélné napětí	32
2.6.3.2	Příčné napětí	32
2.6.3.3	Úhlová deformace	33
2.7	Netavící se wolframové elektrody	35
2.7.1	Geometrie elektrod	36
2.8	Směřování a sklon hořáku v polohách.....	38
3.	Konstrukce svařovacího pracoviště.....	40
3.1	Popis pracoviště.....	41
3.1.1	Svařovací zdroj	41
3.1.2	Zařízení pro ohřev vzorků.....	44
3.1.2.1	Zařízení pro přehřev svařovaných vzorků	46
	elektroinstalace	46
3.1.2.2	Měření teplot termočlánky	50
3.1.3	Lineární dráha	52
3.1.3.1	Popis lineární dráhy	52
3.1.3.2	Nastavení rychlosti pojezdu hořáku	54
4.	Experimentální část - svařování zkušebních vzorků	55
4.1	Příprava svarových ploch	55
4.2	Určení vhodnosti druhu svařovacího proudu a.....	55
	polarity.....	55
4.3	Kontrola a sledování svařovacího procesu	57
4.4	Popis experimentů	60
4.4.1	Svařování tupých spojů.....	60
4.4.2	Svařování koutových spojů.....	61
4.4.3	Popis realizovaných zkušebních svarů.....	62
5.	Závěr	71
6.	Seznam použité literatur	72

Seznam symbolů a zkratk

TIG/WIG, GTAW, metoda 141	Metoda obloukového svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu
MMA, metoda 111	Metoda obloukového svařování obalovanou elektrodou
I	Proud [A]
I_p	Impulsní proud [A]
U	Napětí [V]
AC	Střídavý proud [A]
DC	Stejnoseměrný proud [A]
t_p	Teplota přehřevu [°C]
$tl(t)$	Tloušťka materiálu [mm]
L	Délka svaru [mm]
bs	Střední šířka svaru [mm]
ot	Otáčky [ot/min]
vs	Rychlost svařování [cm/min]
$S_{př}$	Příčné smrštění [mm]
S_p	Podélné smrštění [mm]
S_{pc}	Podélné smrštění vícevrstvé [mm]
F_{sv}	Plocha příčného průřezu svaru [mm ²]
E	Modul pružnosti [Pa]
R_m	Mez pevnosti [Pa]
R_e	Mez elasticity [Pa]
α	Lineární tepelná roztažnost
μ	Tepelně-fyzikální a matematická konstanta
DZ	Dovolený zatěžovatel
[S]	Označení zdrojů, které lze použít v prostředí se zvýšeným nebezpečím úrazu el. proudem
TOO	Tepelně ovlivněná oblast
PA, PB, PF	Polohy svařování dle ČSN EN ISO 6947
MIG	Metoda obloukového svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu
HF	Vysokofrekvenční zapalování
LIFT ARC	Dotykové zapalování
FW	Označení koutového rohového svaru (fillet weld)
BW	Označení tupého spoje (butt weld)

1. Úvod

Rozvoj nových technologií je podmíněn hledáním nových materiálů s lepšími užitnými vlastnostmi a zároveň jejich využití je podmíněno rozvojem nových technologií a zpracování těchto materiálů, které umožní uplatnit jejich progresivní vlastnosti v praktických aplikacích.

Jednou z důležitých vlastností, která výrazně ovlivňuje využitelnost kovových slitin ve strojírenských aplikacích je jejich svařitelnost. Bohužel právě řada konstrukčně zajímavých materiálů je svařitelná obtížně, resp. proces svařování ovlivňuje nepříznivě jejich vnitřní strukturu a mechanické vlastnosti. Příkladem těchto materiálů mohou být intermetalické slitiny železa a hliníku, souborně nazývané jako aluminidy. Tyto materiály by mohly v mnohých ohledech nahradit ušlechtilé oceli, ale právě jejich obtížná svařitelnost a zpracování do jisté míry omezuje jejich praktické využití. Je třeba volit speciální postupy svařování, které jsou schopné tyto nepříznivé děje eliminovat. Ale i u materiálů běžně svařovaných vyvolává proces svařování vnitřní změny. Tepelně ovlivňuje materiál v okolí svarů, vytváří se vnitřní pnutí a deformace svarků. Proto je snahou technologů a konstruktérů provádět svařování co nejšetrněji. Znamená to proniknout co nehlouběji do dějů probíhajících během i po svařování, aby bylo možno navrhnout umístění a provedení svarů tak, aby nepříznivé dopady svařovacího procesu na základní materiál i na svařovaný celek bylo minimální.

Tyto snahy vedly postupně k vývoji simulačních programů např. SYSWELD, které by měly sloužit k matematickému modelování svařovacího procesu. Modelování svařovacího procesu má svůj význam při projektování náročných svařovaných konstrukcí, kde provedení pracovní zkoušky by bylo příliš náročné nebo není možné z důvodů velikosti svařence, případně obtížné dostupnosti použitého materiálů.

Předpokladem úspěšného modelování je zadání správných vstupních údajů. Jejich získávání během procesu svařování je ovšem velmi složité, protože svařování je proces, do něhož vstupuje celá řada proměnných více či méně měřitelných, které mohou celý proces výrazně ovlivnit. Jedním z nejdůležitějších faktorů je samotný svařovaný materiál.

Dále zvolený postup svařování, který představuje celou řadu faktorů např.: metoda svařování, vnesené teplo, přídavný materiál, ochrannou atmosféru, tavidlo atd., jsou-li použity. Tyto proměnné se mohou měnit v širokém spektru hodnot, ale dá se říci, že pokud jejich hodnoty stanovíme, můžeme je poměrně přesně monitorovat.

Jedním z nejobtížněji sledovatelných parametrů je rychlost svařování. Při ručním svařování svářeč podle své dovednosti, zkušenosti a podle vzhledu tavné lázně zrychluje a zpomaluje během svařování tak, že lze mluvit o jakési průměrné hodnotě rychlosti, která pro proces modelování má jen akceptovatelnou hodnotu. Proto bylo cílem mé práce navrhnout, zrealizovat a prakticky odzkoušet zařízení, které by bylo schopné v laboratorních podmínkách zajistit reprodukovatelné parametry při sváření aluminidu metodou 141.

Svoji práci jsem rozdělil na tři části. V první části bych se chtěl nejprve v krátkosti zmínit o použité metodě svařování, o vlastnostech svařovaného materiálu a výběru materiálu, které byly rozhodující pro konstrukci aparatury. Pokusil jsem se alespoň o stručný průřez známými poznatky z teorie svařování, z nichž jsem vycházel při navrhování lineární dráhy a při jejím praktickém zkoušení. Vzhledem k rozsahu mé práce a širokému záběru sledované problematiky jsem se musel omezit pouze na základní fakta. Ve druhé praktické části jsem se stručně věnoval konstrukčním parametrům a upořádání aparatury, její mechanické a elektrické části. V poslední třetí části jsem se věnoval realizaci zkušebních svarů. Vzhledem k tomu, že jsem měl omezené množství vzorků aluminidu, bylo součástí mé práce pouze ověřit funkčnost celého zařízení a pokusit se určit základní parametry svařování různých spojů a materiálů s různou tloušťkou. K tomu jsem používal vzorky nestandardních velikostí a tvarů. Zjišťované parametry mají sloužit jako podklad pro další práce. Na základě jejich modifikací se mohou svařovat další vzorky a sledovat kvalitu svárů v závislosti na změnách svařovacích parametrů.

2. Teoretická část

Shrnutí fakt a poznatků o technologii svařování metodou TIG/WIG (metodou 141).

2.1 Princip svařování metodou 141

Elektrický oblouk hoří mezi netavicí se wolframovou elektrodou (viz. kap. 2.7) a základním materiálem. Svarová lázeň, její blízké okolí a wolframová elektroda jsou před účinky okolní atmosféry chráněny inertním plynem (viz. kap. 2.3). Přídavný materiál se přidává do svarové lázně ručně ve formě tyčky nebo mechanizovaně ve formě drátu vnějším vedením. Mechanizovaný způsob se používá i na robotizovaných pracovištích. Tímto způsobem se svařují nejrůznější materiály. Od slitin železa a uhlíku (tuto metodu použijeme převážně na vysokolegované oceli, protože náklady na svařování jsou velké) přes slitiny hliníku, hořčíku až po titan, zirkon a další. Záleží jen na dovednosti svářeče, rozsahu jeho oprávnění a typu použitého zdroje. V praxi by se dalo určitě najít mnoho dalších aspektů, které nám pro svařování daného materiálu tvoří omezení. To se pokusím popsat v další části mé práce. Je to technologie, která se velmi rozvíjí, v současnosti si své místo našla tam, kde se klade důraz na kvalitu provedení. Ovšem používána je i v automatickém režimu, kdy je drát sunut podavačem, nebo na robotizovaných pracovištích, ovšem stále nemůže produktivitou konkurovat výkonnějším metodám. Ve velkosériové výrobě se používá např. pro stehování, kde u technologie MIG hrozí studený spoj, i když použijeme přehřev drátu. Je používána například v energetice a na místech, kde je třeba stoprocentní jistoty kvalitního průvaru v celém průřezu.

Označení metod dle ČSN EN ISO 4063. Svařování a příbuzné procesy – přehled metod a jejich číslování je pro TIG/WIG zavedeno označ.:

Běžně se v praxi setkáváme se zkratkou TIG resp. WIG. Rozdílná písmena označující obě stejnou metodu 141, rozdíl je pouze v překladu slova Wolfram v angličtině Tangsten

WIG - Wolfram Inert Gas (Wolfram – netečný – plyn)

TIG - Tungsten Inert Gas (Wolfram – netečný – plyn)

americká zkratka

GTAW – Gas Tungsten Arc Welding (plyn - Wolfram – obloukové – sváření)

141 - Obloukové svařování wolframovou elektrodou v netečném plynu.

Výhody metody TIG při využití v praxi:

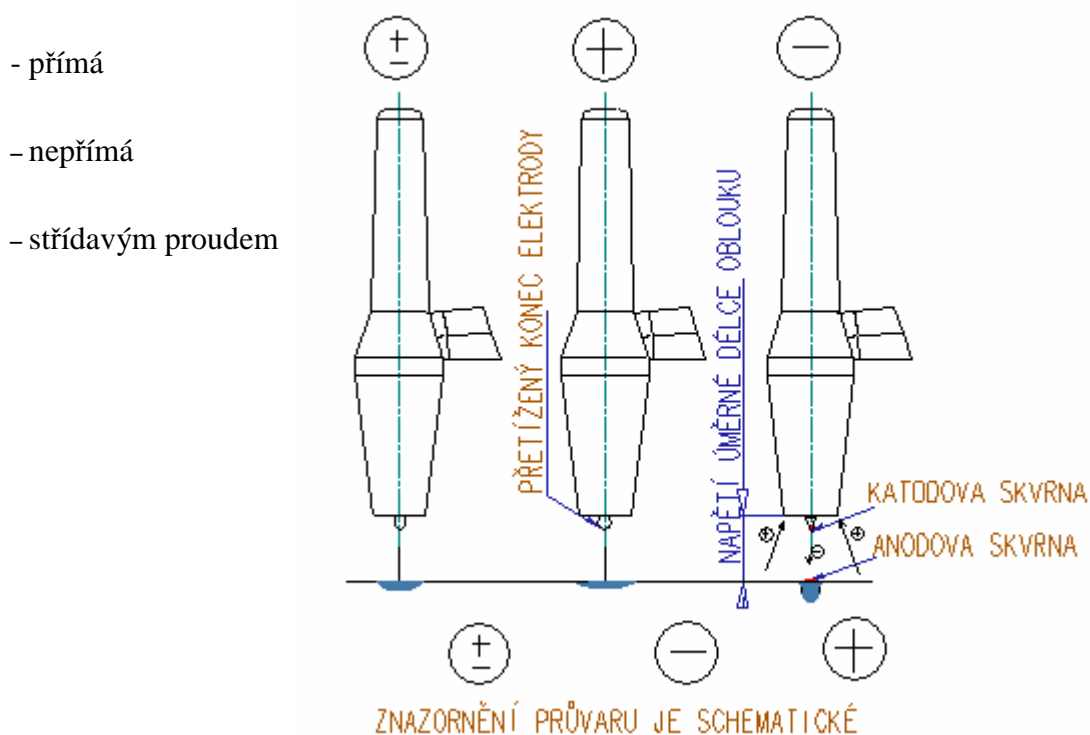
- lze svařovat malé tloušťky materiálu
- dobrá „čitelnost“ tavné lázně pro svářeče
- univerzální metoda svařování pro většinu druhů materiálů (Al, Cu, Ti...)
- velmi dobré ovládání svarové lázně v nucených polohách
- možnost svařovat i bez přídavného materiálu (dle materiálu a přípravy svarové plochy)
- nevzniká struska ani rozstřík svarového kovu

Nevýhody metody TIG při využití v praxi:

- malý tavný výkon
- malá rychlost svařování
- z důvodu použití ochranného plynu snížená možnost montážního svařování
- vyšší cena svařovacího zařízení pro svařování AC
- zvýšené požadavky na svářeče (manuální zručnost a dodržování technologické kázně)

2.1.1 Elektrický oblouk

Elektrický oblouk má výrazný dopad na kvalitu svařování. Je možné ho charakterizovat jako dlouhodobý elektrický výboj v plynném prostředí. Skládá se z katodové a anodové oblasti a z obloukového sloupce. Významným faktorem je ionizace molekul plynu na záporně nabitě elektrony a kladně nabitě ionty, které se pohybují k elektrodě nebo k základnímu materiálu podle použitého proudu (stejnosměrného, nebo střídavého) a také způsobu zapojení elektrody na minus nebo na plus pól. Na vznik oblouku a podporu jeho hoření je potřeba zajistit vhodné podmínky. Způsob zajištění těchto podmínek určuje kvalitu svářecích zdrojů. Jejich technické možnosti jsou často limitní pro daný druh sváření. Proto je třeba při výběru stroje dbát na jeho možnosti a vhodnost pro daný úkol.



Obr. 2.1.1 Schematické znázornění průvaru v závislosti na použité polaritě.

Polarita má velký vliv na hloubku závaru[1]. Použitá polarita je určující pro daný materiál a je to způsob zapojení elektrody. Například slitiny hliníku a hořčíku se svařují převážně střídavým proudem. Střídání polarit rozbíjí oxidickou vrstvu a nezatěžuje elektrodu jako nepřímá polarita.

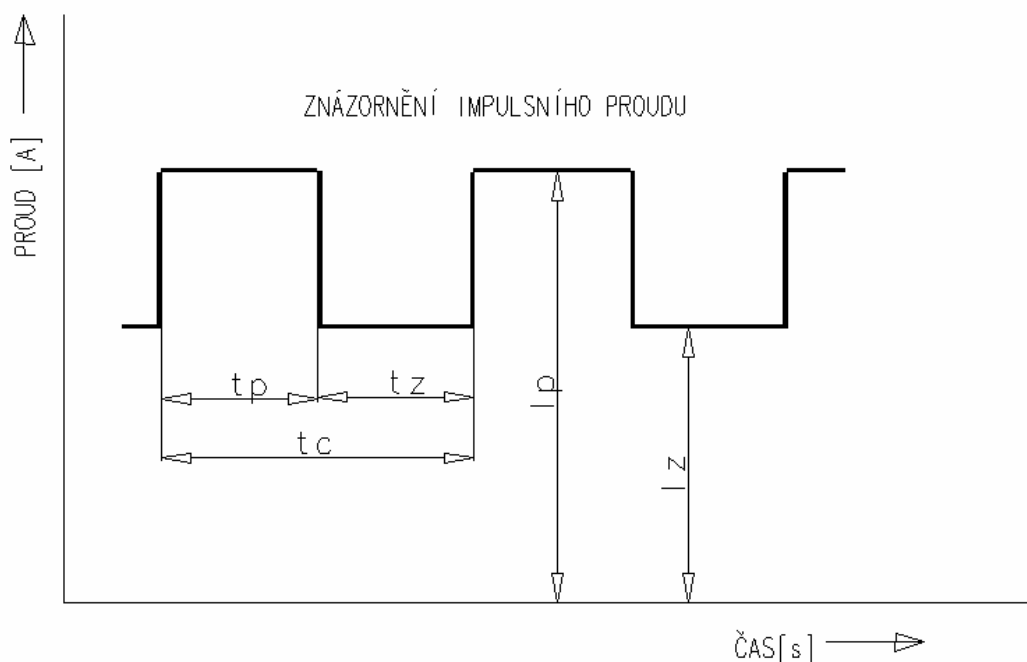
Dnešní inventory umožňují svářeči zkrátit dobu čištění na minimum a stroj sváří více přímou polaritou, tím se zvýší výkon. Také to jde naopak, když je materiál příliš starý nebo zoxidovaný, lze nastavit nepřímou polaritu jako hlavní. Nepřímá polarita způsobuje široký závar. Přímá polarita naopak hluboký závar.

2.1.2 Svařování stejnosměrným proudem

Svařování stejnosměrným proudem je základní způsob zapojení při svařování metodou WIG. Při tomto zapojení je elektroda připojená k zápornému pólu zdroje a svařovaný materiál na kladný (přímé zapojení). Rozdělení tepla oblouku je nerovnoměrné a přibližně 1/3 tepla připadá na elektrodu a 2/3 celkového tepla se přenáší do základního materiálu. Díky tomu není elektroda tepelně přetěžovaná a naopak svarová lázeň má velkou hloubku závaru. Na velkou hloubku závaru má vliv i dopad elektronů, které svoji kinetickou energii přeměňují na tepelnou. Svařování stejnosměrným proudem s přímou polaritou se používá pro spojování všech typů ocelí, mědi, niklu, titanu, jejich slitin a dalších. Tento způsob zapojení se dá použít i pro svařování hliníku v ochranné směsi plynů argonu a nejméně 75 % helia. Při svařování hliníku stejnosměrným proudem se díky vysoké vodivosti helia předává do svarové lázně velké množství tepla, které umožňuje roztavení i povrchových oxidů. Oxidy se vlivem povrchových sil stahují na okraj taveniny a střed tavné lázně je čistý. Tento způsob svařování se používá především pro renovace a opravy rozměrných a silnostěnných hliníkových odlitků nebo svarků. Umožňuje spojovat i silnostěnné a tenkostěnné součásti, především koutovým svarem. Nepřímá polarita zapojení není však z důvodu vysokého tepelného zatížení elektrody využívána.

2.1.2.1 Svařování impulsním proudem

Impulsní svařování je nejnovější variantou WIG svařování, při kterém se intenzita proudu mění pravidelně s časem mezi dvěma proudovými hladinami a to základním proudem I , a impulsním proudem I_p . Podle charakteru zdroje může být tvar průběhu impulsů proudu pravoúhlý, sinusový, lichoběžníkový nebo jiný. Dá se s ním pracovat, zvětšovat ho či zmenšovat. Na svařovacích zdrojích s touto funkcí většinou najdeme schéma podobné Obr. 2.1.2, kde lze měnit jednotlivé hodnoty dle potřeby.



Obr. 2.1.2 Znáznornění impulsního proudu

Základní proud I , jehož hodnota je všeobecně nízká (cca 10 — 15 A), zajišťuje pouze ionizaci oblasti oblouku v čase, tj. Pokud je doba základního proudu delší než dvojnásobek doby pulsu, dochází k úplnému ztuhnutí svarové lázně, což je výhodné pro svařování vysokolegovaných ocelí. Naopak v průběhu kratší doby lázeň neztuhne, ale zmenší svůj rozměr. Toho se v praxi používá při požadavku zvláště hladkého svaru s plynulým přechodem do základního materiálu.

Impulsním proudem I_p , v čase t_p , dochází k natavení svarové lázně a tím i přídavného materiálu. Rozměry svarové lázně definuje především hodnota amplitudy impulsního proudu a doba trvání pulsu. Tímto je dosažena velice přesná regulace svářecího režimu, dávkování hodnoty vneseného tepla do svaru a tvarování svarové lázně. Průměrná hodnota svařovacího proudu je při impulsním svařování nižší než při klasickém způsobu svařování s konstantním proudem, a proto vykazují svary malou TOO i výborné plastické vlastnosti, včetně nižší náchylnosti na praskání a menší deformace[1]. Zároveň tímto způsobem lze svářet tenké materiály, které by nebylo možno klasickým způsobem spojit.

2.1.3 Svařování střídavým proudem

Svařování střídavým proudem se používá z důvodu čistícího účinku při nepřímé polaritě elektrody na svařování hliníku, hořčíku a jejich slitin. Zdálo by se logické svařovat slitiny hliníku pouze nepřímou polaritou, ale z důvodů velkého přetížení elektrody (2/3 tepla na elektrodě) to není doporučeno. Výraznou komplikací při svařování hliníku je vrstva oxidu hlinitého, která chrání za běžných podmínek hliník proti další oxidaci. Vrstvička Al_2O_3 má však vysokou teplotu tavení $2050\text{ }^\circ\text{C}$ a při použití stejnosměrného proudu v ochranném plynu brání metalurgickému spojení [1], poněvadž pokrývá povrch roztaveného hliníku, jehož teplota tavení je cca $660\text{ }^\circ\text{C}$. Tato teplota se udává pro čistý hliník, v praxi používané slitiny mají hodnotu tání danou jejich legujícími prvky. To ovšem nemění nic na faktu, že rozdíl teplot je příliš velký. Logicky lze říci, že pokud by se nerušil efekt oxidu, tak po ohřátí materiálu přes $2050\text{ }^\circ\text{C}$ by se mohlo začít svářet, ovšem slitina hliníku by už dávno tekla. V praxi by to znamenalo díru místo spoje, proto se využívá střídavého proudu za předpokladu, že je materiál pokrytý silnou vrstvou oxidu. V praxi s dnešní moderní technikou má svářeč možnost nastavit balanc tzn. zvětšit kladnou půl vlnu a tím zvýšit i účinek čistícího efektu, ovšem musí se počítat s větším opotřebením elektrody vlivem zatížení. Naopak lze u nového mechanicky nebo chemicky čistého materiálu nastavit hlavní zápornou půlvlnu, tím zvýšit produktivitu a hloubku závaru. Je třeba brát ohled na to, že rychlost tvorby oxidu stoupá s teplotou a vlhkostí.

Čistící účinek vzniká mimo jiné při zapojení elektrody na kladný pól zdroje. Na základním materiálu se vytvoří katodová skvrna, která není stabilní a pohybuje se na místa pokrytá oxidy. Tato místa mají nižší emisní energii pro emisi elektronů a po zasažení katodovou skvrnou se oxidy snadněji odpaří. Druhá forma čistícího účinku se projevuje při rozložení argonu na kladné ionty a elektrony. Argonové ionty o relativně vysoké hmotnosti, které jsou urychlené směrem k tavné lázni, působí na oxidy mechanickým účinkem[1]. Dynamickým účinkem tohoto proudu dochází ke stažení vrstvy oxidu k okraji svarové lázně.

S rostoucími nároky na produktivitu se vynalézají různé metody, například firma Migatronik vybavuje své svářecí zdroje systémem D.O.C.

Výrobce udává, že zdroj rozpozná, jak silná je oxidická vrstva a podle toho plynule přepíná mezi přímou a nepřímou polaritu. Nejen, že se zrychlí svařování, ale šetří se i wolframová elektroda.

Další způsob, který se využívá je protavení oxidu velkým vneseným teplem pomocí směsného plynu helia a argonu. To už jsem ve své práci zmínil. Ovšem v kombinaci se střídavým proudem jsou výsledky mnohem lepší.

Mnohem používanější je možnost odstraňování oxidu mechanickým nebo chemickým působením. To se doporučuje u starého zoxidovaného materiálu, ale slitiny hliníku se pokryjí novou vrstvou prakticky okamžitě, proto je nezbytný čistící účinek. Metody čištění se vštěpují svářečům, aby vždy prováděli kvalitní přípravu svarových plochy. Je třeba si uvědomit, že více používaný je způsob mechanického odstraňování, protože u chemického čištění je problém s ekologií a odpady, proto není tolik rozšířeno.

2.2 Zdroje pro svařování metodou TIG/WIG

Moderní zdroje mají kromě možnosti měnit polaritu a balance (velikost půl vln), také měnit frekvence. S nástupem invertorových zdrojů se stroje značně zmenšily. Snížily se náklady na odběr proudu a jištění zdrojů. Nastavení svařovacího zdroje je jedním z předpokladů, abychom docílili dobrých výsledků při svařování. Většinou se jedná o ruční svařování, kde zdroje mají strmou charakteristiku. Důležité pro svařovací zdroj je, mít možnost plynulé regulace svařovacích parametrů a snadné zapalování elektrického oblouku.

Zdroje střídavého proudu patří mezi složitější a dražší. V dnešní době se jedná převážně o moderní invertorové zdroje využívající polovodičovou technologii, díky níž mohou rozložit frekvenci sítě a následně ji přizpůsobit požadavkům svářeče. Díky tomu můžeme regulovat frekvence a velikosti půl vln, čas, zapnutí elektrody na plus či minus pól atd... Zdroje střídavého proudu, jak bude v mé práci několikrát zmíněno, se používají pro svařování hliníkových slitin. Právě složitost a komplikovanost, stejně jako možnost většího využití, se projeví v pořizovací ceně zdroje.

2.2.1 Požadavky z hlediska zapojení

Síťové napětí podle velikosti a výkonu zdroje - (1 x 230V)
- (3 x 400V)

Toleranční rozsah síťového napětí (např. $\pm 15\%$), frekvence 50-60Hz, jištění (např. 16A, 32A, 63A) dle výkonu a konstrukce zdroje.

Stupeň krytí (IP 23) zajišťuje ochranu proti vniknutí pevných těles o průměru větším než 12mm a ochranu proti šikmo stříkající vodě až do sklonu 60°.

Zdroje s označením symbolem [S] je možné použít pro svařování v prostorách se zvýšeným nebezpečím úrazu el. proudem.

Konstrukce je provedená tak, aby nebyla překročena dovolená špičková hodnota napětí naprázdno 113V stejnoměrných nebo 68V střídavých (dle ČSN EN 60974-1).

2.2.2 Dovolенý zatěžovatel

Zatěžovatel je důležitý parametr, který určuje kvalitu provedení zdroje a jeho budoucí použití. Normalizovaný pracovní cyklus je stanoven na 10 minut a zahrnuje čas:

a) hlavní - oblouk hoří

b) vedlejší - svářeč čistí svar, bere další přídavný materiál, kontroluje svar

Celková doba cyklu je 100%. Zatěžovatel je: poměr doby zatížení svářečky k celkové době pracovního cyklu.

Příklad zkoušky 100% je 10min. To znamená, když zdroj 6min svařoval a 4min byl v klidu, je zatěžovatel 60%. Je to zkouška cyklová tzn., zdroj takto pracuje předepsanou dobu.

- pro ruční svařování je nutné předpokládat zatěžovatel 60%

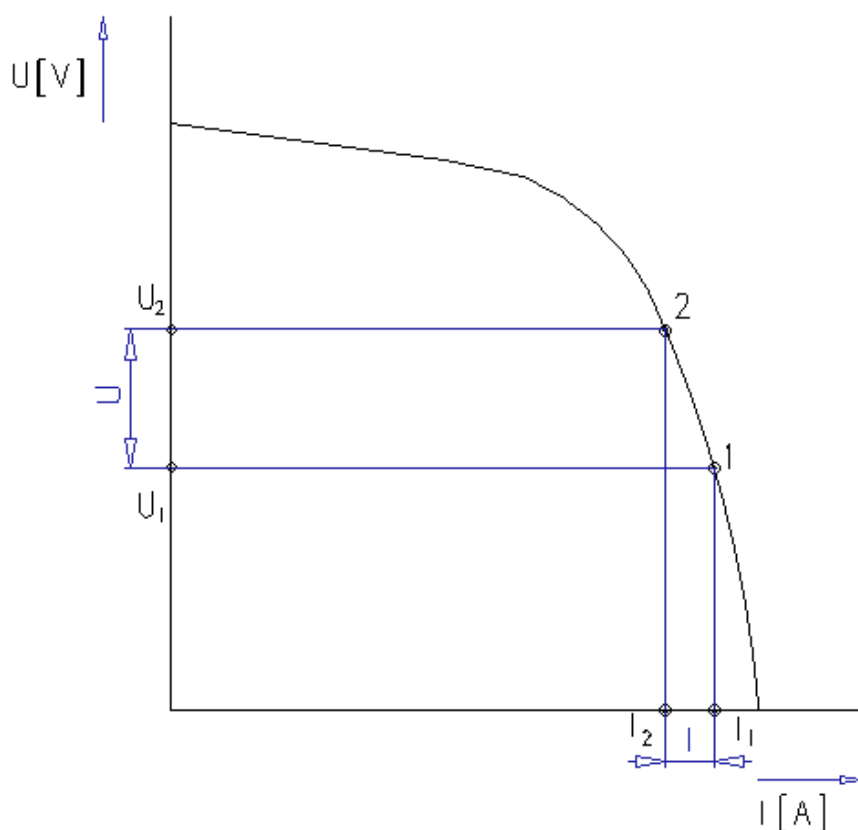
- pro mechanizovaný způsob 100%

Tomu musí odpovídat i požadovaná velikost svařovacího proudu.

Výrobci uvádějí zatěžovatele v rozsahu 15 až 100% při teplotě 20°C nebo 40°C, to je hodnota, která se musí sledovat při výběru nového zdroje s ohledem na jeho budoucí využití. Statická charakteristika svařovacího zdroje TIG

2.2.3 Statická charakteristika svařovacího zdroje TIG

Pro metodu TIG/WIG se používá stejně jako pro metodu MMA strmá charakteristika. Tato charakteristika je znázorněná na Obr. 2.2.1. Strmá charakteristika se u ručních způsobů svařování musí používat z důvodu nestejnoměrného vedení svařovacího hořáku vůči základnímu materiálu. Tím se myslí, že když svářeč vede hořák, elektroda se mu pohybuje v oblasti stability oblouku, oddaluje a přibližuje se k základnímu materiálu. Pokud se elektroda oddálí, zvýší se proud a je vidět na tvaru křivky, že při zvýšení napětí se nemění dramaticky proud, a tím ani odtavovací výkon, jako je tomu u ploché charakteristiky.



Obr. 2.2.1 Charakteristika svařovacího zdroje

2.2.4 Části zdroje

-Řídící jednotka : Ovládá svařovací proces, tj. začátek a konec svařování, náběh proudu na začátku a sestup, a na konci proud dokončovací (kráteru). Pokud je zdroj vybaven tzv. minilogikou, řídí různé úrovně proudu při svařování různě silných materiálů, ovládá pulzní jednotku, zapíná a přerušuje proud[1].

-Zapalovací jednotky: Zabezpečuje zapálení oblouku pomocí vysokofrekvenčního vysokonapětového ionizátoru nebo tzv. dotykového zapalování, tzn. zkratem při velmi malém proudu a oddálením elektrody se automaticky přejde na proud svařovací[1].

vysokofrekvenční ionizátor – HF vytváří mezi wolframovou elektrodou a základním materiálem výboj

impulsní ionizátor – při svařování střídavým proudem podporuje ionizaci oblouku (z minusové do plusové polohy)

dotykové zapalování – LIFT ARC používají ho levnější "hobby" zdroje nebo zdroje pro metodu 111 s možností použití TIG

-Programátor: Stará se o ochrannou atmosféru, řídí předfuk, dofuk ochranného plynu, dále zajišťuje regulaci okruhu chladicí vody (pokud je zdroj vybaven vodním chlazením), aktivuje činnost ionizátoru a při mechanizovaném svařování řídí pohyby hořáku nebo i celé hlavy robotu. Má návaznost na řídící jednotku a v případě robotizovaného svařování je napojen přímo na řídící systém robota.

-Zásobník ochranného plynu: Zabezpečuje spolu s redukčním ventilem požadovaný tlak a průtok v systému. Nejběžněji se používají tlakové láhve různých objemů, ale můžeme se setkat i s odpařovacími zásobníky, ty jsou ekonomické při trvalém odběru velkého množství.

Čisté plyny/směsi plynů pro průmyslové použití

Název	staré značení	nové značení
acetylen		
argon		
dusík		
helium		
hořlavá směs plynů (směs: dusík/vodík, argon/vodík)		
inertní směs plynů (směs: dusík/oxid uhličitý, dusík/etylen, argon/oxid uhličitý, argon/kyslík, argon/oxid uhličitý/kyslík)		
kyslík technický		
oxid uhličitý		
stlačený vzduch		
vodík		
xenon, krypton, neon		

Obr. 2.2.2 Tlakové láhve mají na zúžené části barevné označení dle ČSN EN 1089 – 3

Barevné značení tlakových lahví dle ČSN EN 1089-3

Skladování tlakových lahví řeší ČSN 07 8304 Tlakové nádoby

-Chladicí jednotka: Pokud je zdroj vybaven vodním chlazením, zabezpečuje cirkulaci chladicí kapaliny v celém okruhu. Skládá se ze zásobníku, čerpadla s elektromotorem, ventilátoru na chlazení a propojovacích hadic včetně rychlospojek. Chladicí jednotka zabezpečuje pouze chlazení hořáku. Může být součástí svařovacího zařízení nebo samostatná. Náplní je chladicí kapalina s nemrznoucí směsí. Chladicí jednotka je nezbytná pro svařovací zdroje nad 150A nebo pro zdroje pracující v sériové výrobě.

-Svařovací hořák: Umožňuje maximálně využít svařovací zařízení a má přenášet maximální proud na wolframovou elektrodu. Rozlišujeme hořáky ruční a strojní, dále je rozlišujeme podle způsobu chlazení na chlazené plynem nebo kapalinou (případy, kdy použít chlazení plynem, jsem popsal výše u chladicí jednotky).

Doporučené funkce hořáku:

- Snadné ovládání zdroje (ergonomie rozmístění a počet ovládacích prvků)
- zapnutí a vypnutí svařovacího proudu
- přepínání dvou proudů
- regulace velikosti svařovacího proudu z hořáku
- maximální ochrana svarové lázně (rozptylovače plynu = plynové čočky)
- lehké kabelové svazky délka 3 – 8 m

-Další příslušenství:

Nožní pedál / Dálkové ovládání: Umožňuje plynulou regulaci velikosti svařovacího proudu (záleží na zvyku a podmínkách, pro co se svářeč rozhodne). Dálkové ovládání nebo pedál lze použít i jako regulaci v případě, že se svařuje dál od zdroje. To jaký hořák nebo způsob dálkového ovládání se použije, záleží na zvyklostech ve firmě a na tom, co konkrétně vyhovuje svářečům.

2.3 Ochranná atmosféra pro svařování TIG/WIG

Atmosféra tvořená netečnými plyny

Ochranné plyny zabezpečují ochranu netavící se elektrody, svarové lázně a její okolí, proti vlivům okolní atmosféry, především proti oxidaci a naplynění. Současně vytváří příznivé podmínky pro zapálení oblouku a jeho stabilitu, přenos tepla do svaru i jeho formování[1]. Pro ochranu kořene se používá také ochranných plynů. U svařování titanu a ostatních náchylných kovů na oxidaci, je *ochrana kořene nutností*. Pro vytvoření ochranné atmosféry jsou nejčastěji využívány netečné plyny jako argon, helium nebo jejich směsi s dalšími plyny.

2.3.1 Argon

Argon (Ar) je jednoatomový plyn bez barvy a zápachu, který je inertní a nevytváří s žádným prvkem chemické sloučeniny. Vyrábí se destilací zkapalněného vzduchu, kde teplota varu argonu při atmosférickém tlaku je 186°C. Ve vzduchu je argon zastoupen z 0,934 %. Argon má malou tepelnou vodivost a relativně nízký ionizační potenciál 15,8 eV. Z těchto důvodů se oblouk v argonu dobře zapaluje, má vysokou stabilitu i při relativně velké délce, umožňuje vysokou proudovou zatížitelnost a sloupec oblouku dosahuje vysokých teplot.

Hustota argonu je $1,784 \text{ kg.m}^{-3}$, je tedy asi 1,4x těžší než vzduch, to přispívá k efektivnosti a velmi dobré stabilitě plynové ochrany především v poloze PA. Má nízkou citlivost na proudění vzduchu.

Kvalitu ochrany ovlivňuje čistota použitého argonu. Běžně nabízená čistota plynu je označována 4.5 tj. 99,995 %. Materiály s vysokou afinitou ke kyslíku, jako je např.: titan, tantal a zirkon, však vyžadují ochranu plynem vyšší čistoty např. 4.8 – 99,998 %, nebo i 5.0 – 99,999 % [1].

Se zvýšenými nároky na kvalitu, se v dnešní době používá argon 4.8 i při svařování slitin hliníku. Ovšem při použití takto čistého plynu se musí dbát zvýšené opatrnosti při kontrole netěsností, jinak by docházelo ke kontaminaci drahého plynu a jeho vliv na kvalitu by se neprojevil.

2.3.2 Helium

Helium (He) je jednoatomový inertní plyn bez barvy a zápachu. Vyrábí se separací z některých druhů zemního plynu, kde se He vyskytuje v množství kolem 1%. Helium je velmi lehký plyn s hustotou $0,178 \text{ kg.m}^{-3}$, je 7x lehčí než vzduch, tato skutečnost snižuje efektivitu plynové ochrany a proto vyžaduje pro dokonalou ochranu svaru vyšší průtok plynu. Helium se vyrábí s velmi vysokou čistotou min. 99,996 % (4.6) s limitovaným obsahem nečistot kyslíku, dusíku a vodní páry, obsah od 5 do 20 ppm [1]. Helium má podstatně vyšší tepelnou vodivost než argon. Ionizační potenciál helia 24,6 eV je také vyšší než u argonu, proto se oblouk špatně zapaluje a je nestabilní při větší délce hoření. Napětí na oblouku v heliu je výrazně vyšší než v argonu. Díky vysoké tepelné vodivosti je přenos tepla v oblouku velmi vysoký. Proto se směsi s heliem používají pro svařování materiálů s vysokou tepelnou vodivostí, u větších tloušťek a u velmi rozdílných tloušťek, především hliníku, mědi a jejich slitin. Použitím helia ve směsi s argonem se zvýší hloubka závaru a zvýší rychlost svařování. Svařování v čistém heliu vyžaduje také zdroje s vysokým napětím, naprázdno až 100 V (pozor, toto napětí je přípustné jen pro strojně vedený hořák nebo hořák se zvýšenou ochrannou pro svářeče) a zapalování oblouku se provádí v ochranné atmosféře argonu. Helium je velmi vhodné také pro mechanizované způsoby svařování.

2.3.3 Směs argon helium

Směsi argonu a helia tvoří samostatnou skupinu inertních plynů. Ve směsi jsou spojeny výhodné vlastnosti obou plynů a pro svařování WIG se nejčastěji používají tyto kombinace:

70 % Ar + 30 % He, Ar - He 50/50, 30 % Ar + 70 % He

Se stoupajícím obsahem helia se zvyšuje napětí na oblouku a tepelný výkon oblouku, což se pozitivně projevuje na tvaru a rozměrech svaru. Při svařování v uvedených směsích se zvyšuje rychlost svařování, hloubka závaru, nebo lze snížit přehřev kovů s vysokou tepelnou vodivostí. Směsi argonu a helia se používají především pro svařování mědi a hliníku ručním nebo strojním způsobem. Pro ostatní kovy se doporučují pro mechanizované svařování silnějších materiálů případně výrazně rozdílných tloušťek[1].

2.3.4 Směsi argonu a vodíku

Podobné vlastnosti jako argon s heliem má i směs argonu s vodíkem, který zlepšuje průvar díky velmi vysoké tepelné vodivosti. Přídavkem vodíku 5 až 10 % se zlepšuje také čistota povrchu svaru díky redukci oxidů. Vodík se však může používat jen pro svařování vysoce legovaných austenitických ocelí, nebo niklu a jeho slitin, aby nevznikaly trhliny za studena (nevhodné pro feritické a martenzitické oceli). Podílem až 10 % vodíku se zlepšuje tvar a hloubka závaru i rychlost svařování o 30 – 50 % [1]. Pro svařování hliníku a mědi se nedoporučuje z důvodu nebezpečí vysoké pórovitosti svaru. Díky redukčnímu charakteru vodíku je povrch svaru bez oxidů a nečistot. Sám jsem mohl vidět funkci tohoto plynu v praxi. Při jeho použití se zvýšil výkon a svářeč musel podstatně upravovat parametry pro dosažení stejného svaru. Dokonce se zdálo, že i zabarvení v okolí svaru se snížilo vlivem vyšší rychlosti. To znamenalo menší tepelné ovlivnění materiálu.

2.3.5 Směsi argonu s dusíkem

Dusík je podobně jako vodík dvouatomový plyn, který má vyšší tepelnou vodivost a přenáší do svarové lázně větší podíl tepla[1]. Běžný obsah dusíku se pohybuje kolem 10 % a používá se především pro svařování mědi a jejích slitin. Směsi s dusíkem se používají zejména jako formovací plyny. Nesmí se používat u stabilizovaných ocelí Nb, Ti. Mohlo by dojít k tvorbě nitridů, což je nežádoucí jev.

2.4 Problematika svařování hliníkových slitin z pohledu metalurgie

Vysoký součinitel tepelné roztažnosti vede k velkému smrštění při tuhnutí svarového kovu, a tím k velkým deformacím a vnitřnímu pnutí. Tato vlastní pnutí, společně s velkým intervalem při tuhnutí (mezi likvidem a solidem), činí slitiny Al náchylné ke vzniku krystalizačních, případně likvačních trhlin[8].

Tepelný cyklus svařování vede k degradaci vlastností tepelně-ovlivněné oblasti svarového spoje Al-slitin. Stupeň degradace závisí na typu slitiny, jejím výchozím stavu a na podmínkách procesu svařování a chladnutí po svaření[2].

Rozdílné vlastnosti hliníku a jeho slitin ve tvářeném a litém stavu, a nevhodnost některých slitin k použití jako přídatný materiál, mají za důsledek, že svarové spoje mají obvykle nižší pevnostní vlastnosti než základní materiál.

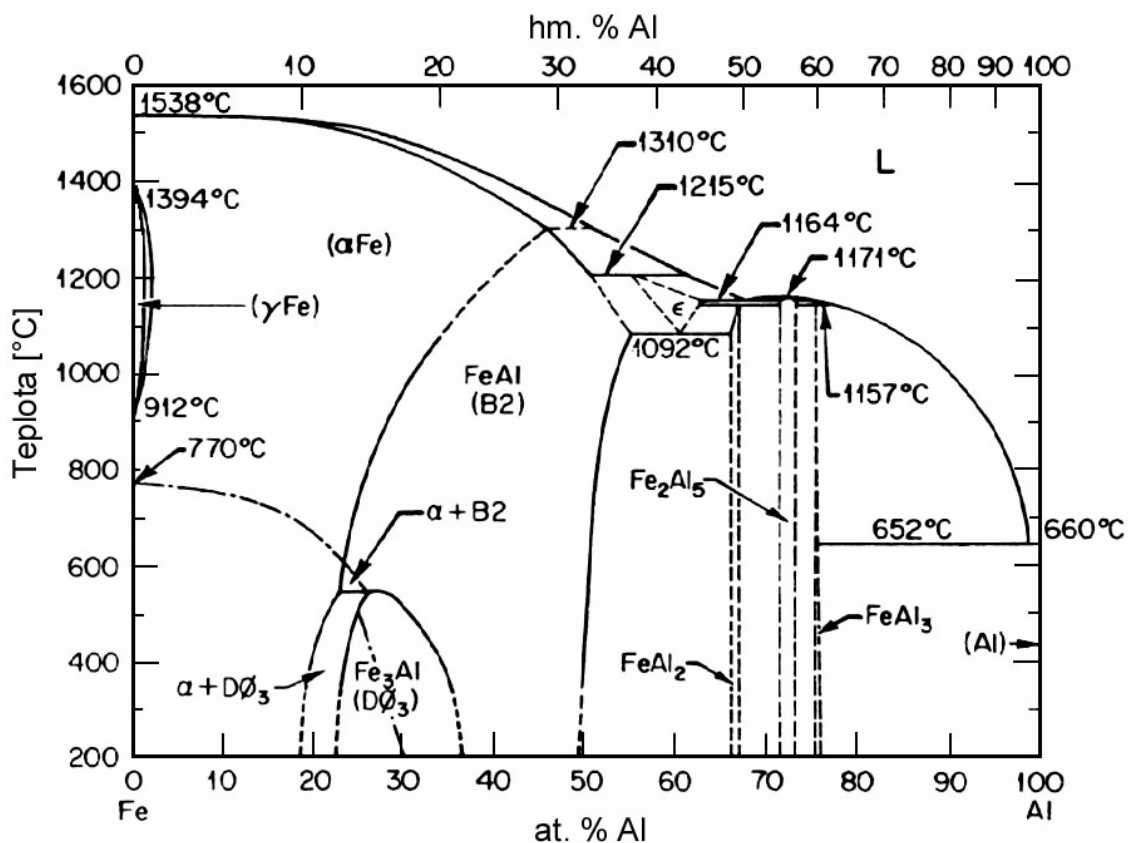
Hliník a jeho slitiny nemění při ohřevu barvu, což ztěžuje vizuální kontrolu tavné lázně.

Vysoká rozpustnost plynů a zejména vodíku v roztaveném kovu, může vést k pórovitosti svarového kovu. Je tedy třeba zabránit přístupu vodíku do tavné lázně. Vznik pórů je rovněž podporován nedostatečným odstraněním oxidické vrstvy[8].

2.5 Aluminidy

Jedná se o velmi zajímavý materiál, svými vlastnostmi byl znám už od třicátých let minulého století. Jediný a největší problém, který bránil masovému využití, je problematické zpracování těchto slitin.

Je to uspořádaný tuhý roztok, který vzniká z neuspořádaného při stechiometrickém složení a při určité teplotě.

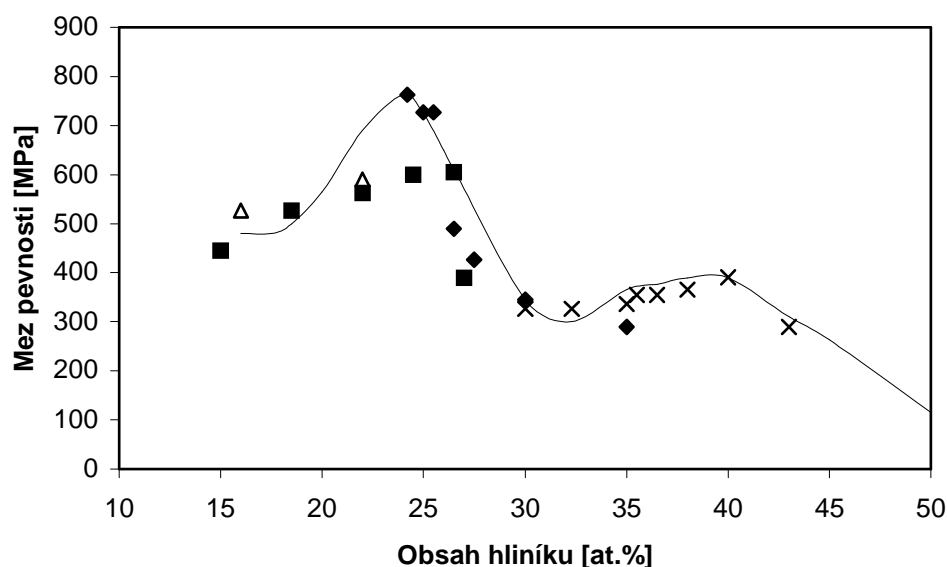


Obr. 2.5.1 Fázový diagram Fe – Al [3]

Fázový diagram binárního systému Fe-Al obsahuje řadu intermetalických fází, z nichž z hlediska praktického jsou zajímavé: tuhý roztok α a uspořádané struktury B2 a D0₃. V okolí stechiometrického složení Fe₃Al nabývá slitina různých struktur v závislosti na teplotě a složení. Jsou to neuspořádaný tuhý roztok hliníku v železe (α -ferit) při vysokých teplotách a dvě uspořádané fáze (D0₃ a B2) při teplotách nižších. Sledujeme-li fázovou strukturu při stechiometrickém složení od vysokých teplot k nižším, je sled oblastí: neuspořádaný tuhý roztok (α), Fe₃Al s nedokonalou uspořádanou strukturou B2, dvě dvoufázové oblasti α + D0₃ a α +B2 a uspořádaný Fe₃Al se strukturou D0₃. Složení slitiny se upravuje do nestechnometrického složení Fe-28at.% Al, aby se odstranily nadbytečné fázové transformace přes dvoufázové oblasti. To zajišťuje jednoduchou situaci s rozhodujícím fázovým přechodem v pevném stavu D0₃ \leftrightarrow B2. Teplota transformace (T_C) mezi strukturami B2 a D0₃ ve stechiometrickém složení Fe₃Al je přibližně 550°C[3].

Při pokojové teplotě mez pevnosti v tahu dosahuje maxima blízko stechiometrického složení Fe₃Al (Obr. 2.5.2). Podobný trend byl pozorován i u tvrdosti. Důvod pro vyšší pevnost je mnohem vyšší stupeň uspořádání D0₃ při tomto složení. APB slouží jako bariéry pohybu dislokací.

Superdislokace $D0_3$, obtížně překonává APB šplháním nebo příčným skluzem. To přispívá ke zvýšení hodnot meze pevnosti.



Obr. 2.5.2 Průběh meze pevnosti v závislosti na obsahu hliníku [3]

Maximum meze pevnosti v závislosti na teplotě pro většinou používané binární slitiny s 28at% Al leží blízko přechodové teploty $D0_3$ -B2 ($\sim 550^\circ\text{C}$).

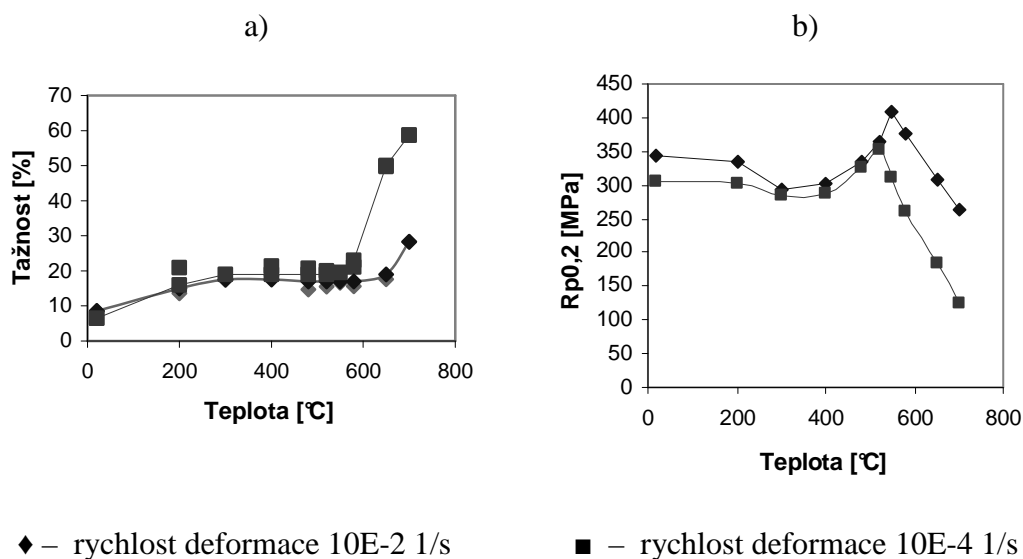
2.5.1 Nové postupy zpracování

V dnešní době se ukazuje cesta v podobě mikrolegování. Pro rozšíření tohoto materiálu mluví poměrně nízké materiálové náklady a úspora prvků jako je Cr a Ni. Další nespornou výhodou těchto slitin je jejich nižší hmotnost. Mechanické vlastnosti přitom zůstávají podobné jako u většiny běžných ocelí. Aluminidy mají navíc velkou výhodu v tom, že dokáží odolat kavitaci, či síře a jejím sloučeninám. To předurčuje jejich využití např. v chemickém průmyslu (aplikace, kde materiál přichází do styku s roztoky solí), dále lopatky turbín atd. Nejdůležitější je v těchto odvětvích, aby samotný materiál a nakonec i případné svary, nevykazovaly trhliny nebo jiné vady.

2.5.2 Dosud realizované zkoušky

Výzkum vlastností a jejich zlepšení probíhá na mnoha pracovištích, mimo jiné i na Technické Univerzitě v Liberci. Sledoval se vliv poměru obsahu příměsí, ať už prvků tvořících precipitáty či tuhé roztoky, na mechanické vlastnosti a zpracovatelnost, tedy i na svařitelnost a následné praskání svařených vzorků.

V oblasti teplot cca 300 – 400°C je hodnota meze kluzu a tažnost snížena vzhledem k výchozím hodnotám při teplotě 20°C. Grafy ukazují závislost obou vlastností na teplotě, viz Obr. 2.5.3. Zjistilo se, že se v materiálu nad 700°C vyrovnává vnitřní pnutí. Dá se mluvit o tepelném zpracování. Na to je totiž aluminid velmi citlivý a dokáže se jím výrazně zlepšit jeho mechanické vlastnosti. Další faktor možná nejdůležitější, protože se nedá po vyrobení moc ovlivnit je obsah železa, respektive Al.



Obr. 2.5.3 Závislost *a)* tažnosti, *b)* meze kluzu aluminidu na teplotě

Ověřovací zkoušky svažitelnosti byly provedeny u aluminidu železa Fe₃Al. Vzorky z plechu s chemickým složením 16,13 % Al, 2,85 % Cr, 0,06 % Ce, 0,46 % Mn a 0,04 % C (hmotnostní %), z toho byly připraveny vzorky pro zhotovení zkušebních svarů tloušťka plechu 6 mm. Byla snaha vytvořit rozměrnější svařence bez výskytu trhlin[6].

Během našich experimentů se zjistilo, že i sváry získané s předehřevem základního materiálu na 200°C vykazovaly dobré vlastnosti. Ovšem hned po svaření se vzorky umístily do pece předehřáté na 700°C tím jsme minimalizovali riziko vzniku trhlin. U zkušebních vzorků (vzorky nedefinovaných rozměrů určené pouze pro nastavení předběžných parametrů) jsme dohřev nerealizovali, některé vydržely bez trhlin. Použitý materiál měl chemické složení 16.13%Al, 2.85%Cr, 0.06%Ce, 0.46%Mn a 0.04%C(hmotnostní %). Byly odlity v První brněnská strojírna Velká Bíteš, a.s. Válcování na konečné polotovary: Inovační technologické centrum-VÚK a.s., Panenské Břežany 50[7].

2.6 Deformace ve svařování

Napětí a deformace jsou průvodními jevy tavného svařování nebo tepelného dělení. V obou případech na materiál působíme koncentrovaným zdrojem tepla a místním ohřevem, v jeho důsledku vznikají uvnitř materiálu deformace. Pokud materiál ohřejeme rovnoměrně v celém objemu, roztahuje se ve všech směrech a při ochlazení se zase rovnoměrně smrští. Žádné napětí ani deformace nevzniknou.

Při svařování má materiál v místě intenzivního ohřevu snahu se roztáhnout, ale s vyšší teplotou ztrácí pevnost. Vzdálenější materiál, zahřátý na nižší teplotu, zabraňuje jeho rozpínání. Napětí roste až na mez kluzu, ta závisí na teplotě. Vzniká zplastizovaná zóna kolem svaru, tzv. TOO tepelně ovlivněná oblast, ve které se zahřátý materiál napěchovává na vzdálenější a méně ovlivněný materiál. Nejvyšší teplota a nulová pevnost je ve svarové lázni, tvořené přídavným materiálem a jeho nataveným základním materiálem. Velikost ovlivněné zóny je dána druhem použité metody a intenzitou svařovacího procesu tzn. vneseným teplem[4].

Po svaření chladne postupně zplastizovaná a napěchovaná oblast základního materiálu s napětím na úrovni meze kluzu, při okamžité místní teplotě stahuje nejprve oblast teplejšího svarového kovu. S jeho postupným tuhnutím roste i jeho mez kluzu a deficit, vzniklý smrštěním svarového kovu a napěchováním okolního základního materiálu, to se projeví vnitřním napětím na mezi kluzu v oblasti svaru.

2.6.1 Důsledky napětí ve svařenci

Důsledkem napětí je, že podle tuhosti spoje se napětí přenáší do celého svarku. Potom se může uvolnit jako vnější deformace, kterou můžeme buďto vhodným postupem svařování omezit nebo ji později odstranit rovnáním. Přesto se bere vnější deformace jako přijatelnější, protože se při ní odstraní nebo zmírní vliv nebezpečného vnitřního napětí. Zbytkové vnitřní napětí je napětí, které se vlivem tuhosti spoje neuvolnilo ihned a může se uvolňovat v průběhu provozu. Také může u materiálů s nižší zásobou plasticity (záleží na chemickém složení, struktuře, tepelném zpracování, provozní teplotě a mnoha dalších aspektech zejména při lokální více osé napjatosti) na okrajích vrubu nebo díky vnitřním vadám a strukturním přechodům (bereme jako koncentrátoři napětí) [4] dojít ke vzniku trhlin a lomů v důsledku překročení meze pevnosti. Toto napětí může způsobit kolizi celého svařence, a pokud se neodhalí, může k poškození dojít během provozu.

Pokud s vnitřním napětím počítáme, provedeme vhodná opatření, např. dodatečné tepelné zpracování, stress test, vibrování. Jsou to sice finančně nákladné metody, ale pomohou nám zbavit se napětí, která nelze odhalit nedestruktivní kontrolou, a při provozu zatíženého svařence napomáhají k jeho destrukci.

2.6.2 Snížení vlivu deformace během svařování

Snížení vlivu deformací při svařování řeší **svařitelnost** a souvisí s oblastí jakosti při svařování, které jsou probrány v mnoha odborných publikacích a jsou zakotveny do státních norem. Důležité je si uvědomit jejich vzájemnou propojenost. Pokud se nám podaří předběžnými opatřeními snížit úroveň napětí v důsledku svařování a, nebo, zkvalitnit vlastní proces svařování, zvýšíme tím i rozsah svařitelnosti a naopak, při použití způsobu a postupu svařování s vysokou mírou pnutí a s nižší mírou zabezpečení kvality procesu, celkovou svařitelnost snížíme. Tato logická návaznost platí obecně pro každý materiál a konstrukční řešení svaru. Svařitelnost je ovlivňována ještě dalšími faktory, jako je samotný materiál jeho kvalita atd... Míra svařitelnosti při dodržení potřebné kvality je hlavním kritériem ekonomičnosti výroby, je určující pro volbu parametrů vlastního procesu a zejména pro použití drahých přídavných operací. Tím limituje použitelnost určitého materiálu pro určitý typ konstrukce. Nejdůležitější je stanovení postupu a volby materiálu včetně potřebných zkoušek. V tomto směru bude platit, čím lepší příprava, tím méně problémů nastane při samotné výrobě. Dá se říci, že toto zahrnuje norma ČSN EN ISO 3834-2 vyšší požadavky na jakost, kde je přímo předepsáno jak zajistit požadovanou jakost z hlediska personálu, materiálu, postupů atd.... Kompletní kritéria podle stupňů jakosti najdeme v ČSN EN ISO 3834-1.

2.6.3 Klasifikace napětí ve svaru

Tato kapitola se zabývá napětím ve svařenci, jeho druhy a příčinami vzniku.

Zbytková napětí deformující konstrukci

Podle směru působení

Příčná deformace

Podélná deformace

Podle oblasti působení

Vnitřní (v objemech průřezu)

Vnější (změny tvaru a rozměru)

Podle doby existence

Přechodové – působí po dobu působení příčiny

Zbytkové – zůstává ve spoji

Podle stálosti

Elastické – do meze pružnosti

Plastické – za mezí kluzu

2.6.3.1 Podélné napětí

Pokud působí v neutrální ose průřezu, způsobí jen zanedbatelné zkrácení svaru, ale pokud jde jeho působení mimo neutrální osu, vzniklé ohybové momenty smršťujících sil mohou způsobit jeho výraznou celkovou deformaci.

Podélné smrštění (mm/m)

Deformace ve směru osy svaru, resp. prostorové deformace svařence.

- Metoda
- Způsob kladení housenek
- Tuhost konstrukce ve směru svařování.

Lze vypočítat například ze vztahu:

$$\text{Podélná deformace} \quad Sp(mm) = 0,012 \cdot \frac{I \cdot L}{100 \cdot t} \quad t - \text{tloušťka materiálu}$$

$$\text{Pro vícevrstvé sváry} \quad Spc(mm) = Sp + \frac{n \cdot Sp}{10} \quad n - \text{počet vrstev}[5]$$

2.6.3.2 Příčné napětí

Dosahuje podle velikosti svaru menších hodnot, ale vzhledem k nižší tuhosti průřezu v tomto směru může způsobit též výrazné a těžko napravitelné místní deformace. Nejznámější je úhlová deformace, která je výslednicí ohybových momentů, od smršťujících sil jednotlivých svarových housenek k těžišti průřezu s ohledem na jeho rostoucí tuhost při postupném vyplňování svaru. Pro účinnost výčtu napětí působících při a po svařování, je nutno ještě uvést strukturní vlastní napětí. Ty závisí na druhu svařovaného materiálu.

Příčné smrštění (mm)

Deformace ve směru kolmém na podélnou osu svaru v rovině povrchu materiálu

- Množství tepla ve svaru
- Způsob svařování
- Tvar a délka svaru
- Tloušťka materiálu
- Tuhost

Lze vypočítat například ze vztahu.

$$\text{Příčná deformace} \quad Spř(mm) = 0.1716 \cdot \frac{F_{sv}}{t} + 0.0121bs \quad [5]$$

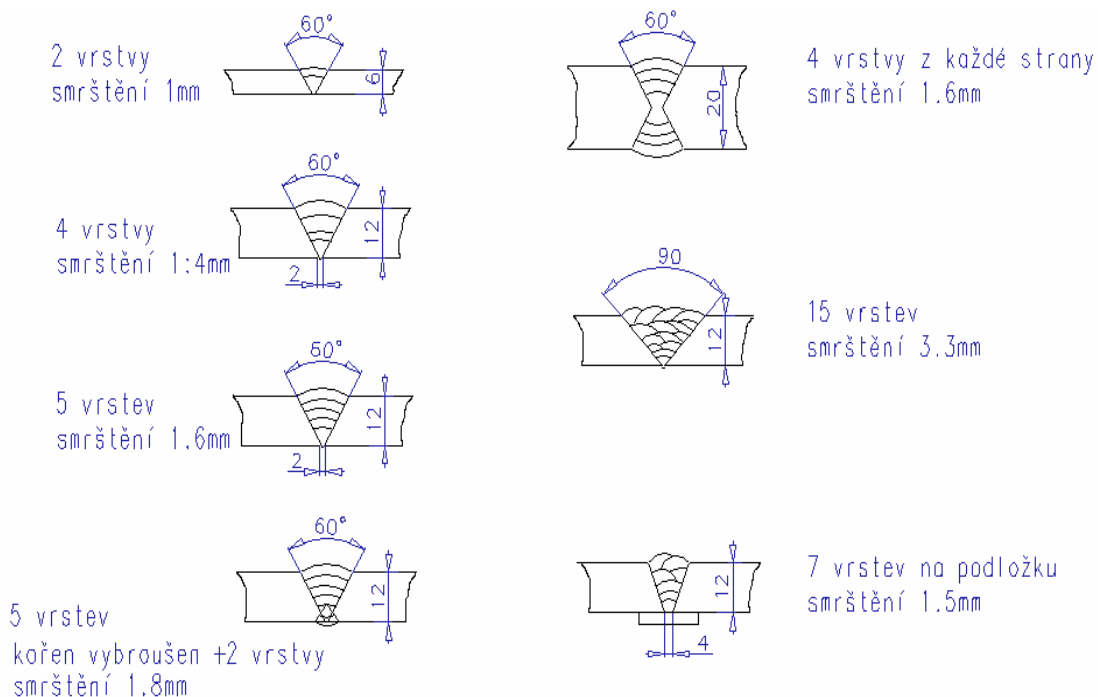
F_{sv} – plocha příčného průřezu svaru

t – tloušťka materiálu

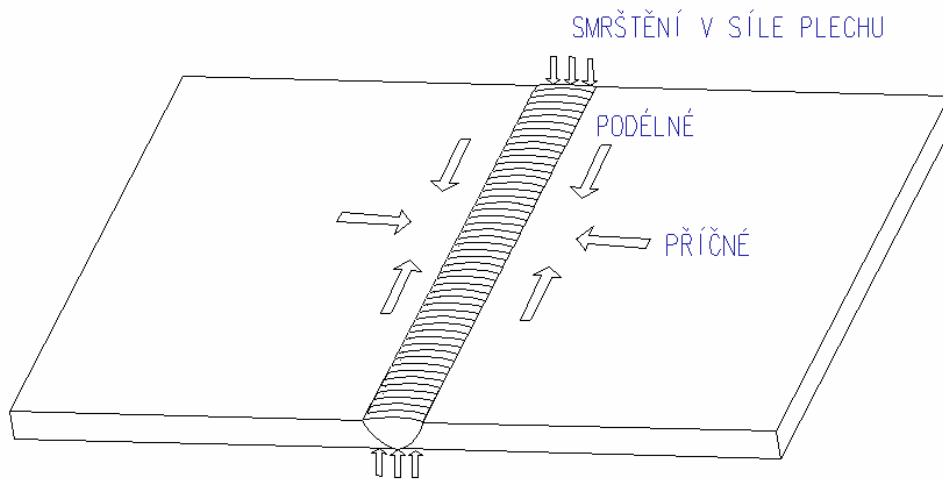
bs – střední šířka svaru

2.6.3.3 Úhlová deformace

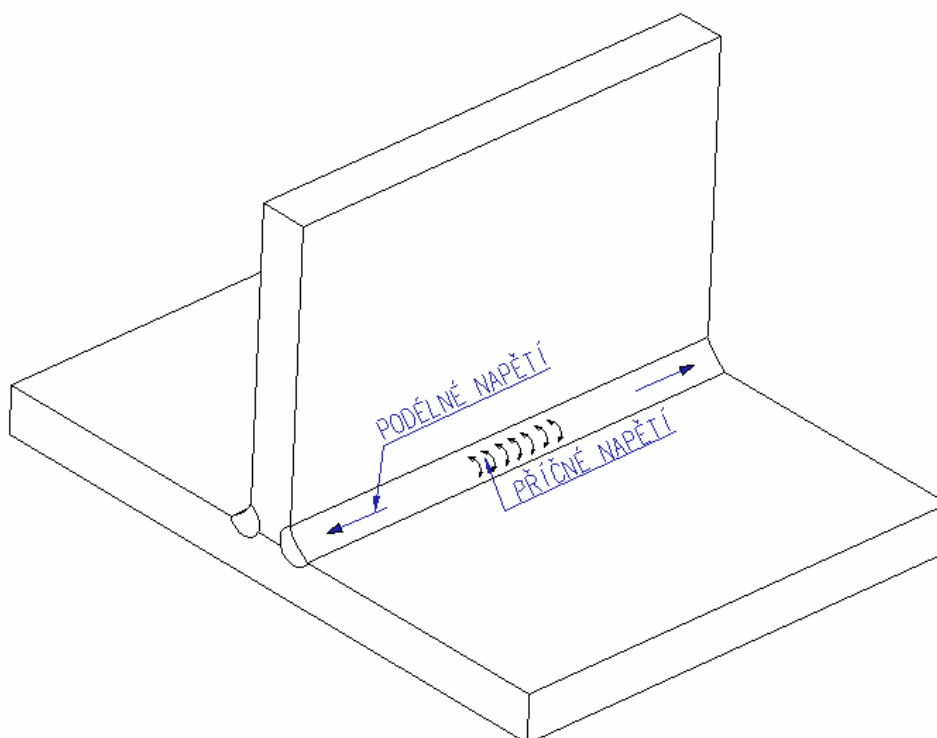
Je to druh příčného smrštění. Zde se soustředíme na úhel rozevření svaru a způsob jeho vyplnění. Musíme si uvědomit, že vyplnění a počet vrstev má významný vliv na budoucí úhlovou deformaci. Porovnávají se svary vícevrstvé, oboustranné, či podložené a různé tloušťky základních materiálů vše pro tupé spoje.



Obr. 2.6.1 Zobrazení vlivu počtu vrstev na smrštění



Obr. 2.6.2 Zobrazuje působící napětí na tupý spoj po svaření. Velikost dané deformace závisí na zvoleném druhu materiálu a postupu svařování.



Obr. 2.6.3 Znázornění působení napětí v koutovém svaru[5]

Při konstrukci je třeba brát v úvahu i případné deformace a napětí. Zejména při použití žeber a příček, tak aby nedocházelo ke křížení svarů.

Konstrukce se vlivem napětí deformují, proto se musí stehovat a upínat tak, aby se dosáhlo požadovaného výsledku, pokud to není možné, je potřeba svařenec rovnat. Na Obr. 2.6.3 je vidět, jak napětí působí na koutový svar.

2.7 Netavící se wolframové elektrody

Netavící se elektrody používané při svařování TIG/WIG, se vyrábějí ze spékaného wolframu. Wolfram má teplotu tavení 3380°C , teplotu varu 5700°C , měrný elektrický odpor $5,36 \cdot 10^{-8}$ ohmů a hustotu $19,1\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

Elektrody se vyrábějí čisté bez příměsí o čistotě 99,9 % W, nebo legované oxidy kovů – thoria (Th), lanthanu (La), ceru (Ce), zirkonu (Zr) nebo yttria (Y), které jsou v elektrodě rovnoměrně rozptýleny. Přísady oxidů zvyšují teplotu tavení elektrody, zvyšují životnost, zlepšují zapalování oblouku a jeho stabilitu díky zvýšené emisi elektronů. Zvýšení emise elektronů lze dosáhnout snížením výstupní práce při uvolnění elektronů. Prvky s nízkou výstupní prací však nejsou vhodné z důvodů mechanických vlastností jako katodový materiál, a proto se přidávají k wolframovým elektrodám jako oxidická příměs[1]. Při disociaci se kov legujícího oxidu uvolňuje a pokrývá hrot wolframové elektrody, přičemž podstatně zvyšuje termoemisi elektronů. Delší životnost elektrody a vyšší proudovou zatížitelnost podporuje také vysoká teplota tavení oxidů.

Teploty tavení oxidů kovů, které se používají jako přísada do wolframových elektrod jsou uvedeny v Tab. 2.7.1.

Tab. 2.7.1: Teploty tavení oxidů kovů:

Název	Chem. značka	Teplota tavení
oxid thoričitý	Th O ₂	3300°C
oxid lanthanitý	La ₂ O ₃	2300°C
oxid zirkoničitý	Zr O ₂	2700°C
oxid ceričitý	CeO ₂	2600°C
oxid hafničitý	Hf O ₂	2900°C
oxid yttritý	Y ₂ O ₃	2700°C

Naproti tomu oxid wolframový W₂O₃ má teplotu tavení pouze 1473°C . Podstatně vyšší teploty tavení mají také nitridy uvedených kovů ve srovnání s nitridem wolframu.

Volba typu elektrody závisí na druhu proudu a oblasti použití. Elektrody jsou normalizovány v ČSN EN 26 848 a jejich složení a barevné označení je uvedeno v Tab. 2.7.2.

Tab. 2.7.2 *Přehled druhů vyráběných wolframových elektrod (ČSN EN 26 848):*

Označení	Hmotnostní procento oxidů	Barevné označení
WP		Zelená
WT 10	ThO ₂ 0,9 - 1,2	Žlutá
WT 20	ThO ₂ 1,8 - 2,2	Červená
WT 30	ThO ₂ 2,8 - 3,2	Fialová
WT 40	ThO ₂ 3,8 - 4,2	Oranžová
WZ 8	ZrO ₂ 0,7 - 0,9	Bílá
WL 10	LaO ₂ 0,9 - 1,2	Černá
WC 20	CeO ₂ 1,8 - 2,2	Šedá
WL 20	La ₂ O ₃ 1,8 - 2,2	Modrá
WS 2	Vzácné zeminy	Tyrkysová
WLYC 10	La ₂ O ₃ + Y ₂ O ₃ + CeO ₂ 0,8 - 1,2	Zlatá

Elektrody jsou vyráběny v průměrech [mm]: např.: 2,0; **2,4**; 3,2
a délkách [mm] např.: 150; 175

Označování wolframových elektrod se řídí těmito zásadami:

- 1) -první písmeno W značí wolfram jako základní prvek elektrod,
- 2) -druhé písmeno charakterizuje přísadu oxidů, T - oxid thoričitý, Z - oxid zirkoničitý, L - oxid lantaničitý, C - oxid ceričitý a nebo P - (pure – čistý) charakterizuje elektrodu z čistého wolframu,
- 3) -číslo při základní značce udává desetinásobek koncentrace oxidů

Každá dodávaná elektroda musí být na jednom konci označena min. 3 mm barevným páskem odpovídajícího barevného odstínu. Elektroda se brousí na konci bez barevného označení do požadovaného tvaru[1].

2.7.1 Geometrie elektrod

Průměr, druh a způsob broušení elektrod závisí na těchto faktorech:

- druhu svařovacího proudu
- polaritě na elektrodě při stejnosměrném proudu
- velikosti svařovacího proudu v závislosti na druhu základního materiálu

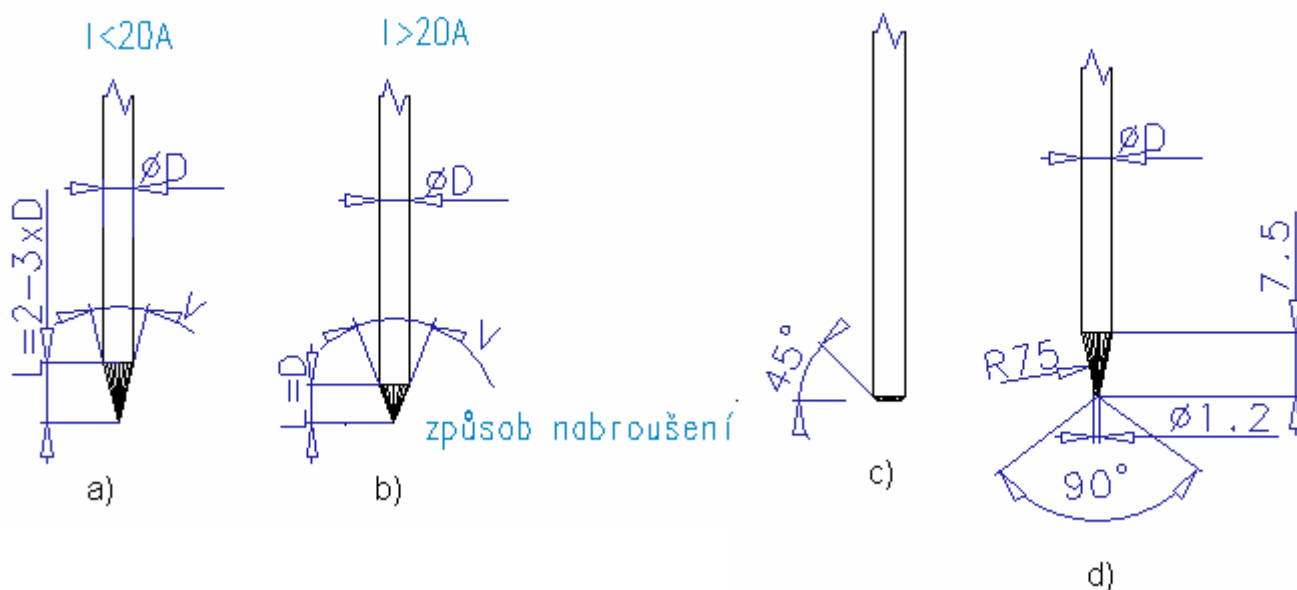
Funkční konec elektrod pro stejnosměrný proud se brousí do tvaru kužele, viz Tab. 2.7.3 s vrcholovým úhlem v závislosti na svařovacím proudu. Pro svařování střídavým proudem se brousí do tvaru komolého kužele a při zatížení svařovacím proudem se povrchově nataví do kulového tvaru.

Tab. 2.7.3 Doporučené hodnoty vrcholových úhlů pro stejnosměrný proud

(Vrcholový úhel značen na Obr. 2.7.1 jako V.):

Svařovací proud	Vrcholový úhel
do 20 A	30°
20 až 100 A	60° - 90°
100 až 200 A	90° - 120°
nad 200 A	120°

Při vlastním broušení je nutné orientovat elektrodu tak, aby vzniklé rýhy byly ve směru toku elektronů, což zajišťuje hoření oblouku z konce elektrody. Nejlepších výsledků se dosahuje pomocí brusek elektrod, které jsou dnes součástí moderních pracovišť. Broušení má největší význam pro přímou polaritu, protože pro střídavý proud se vytvoří zaoblený konec. Na Obr. 2.7.1 jsou znázorněny způsoby broušení. Elektroda by se měla vysouvat 1,5x průměr elektrody, viz Obr. 2.7.2[1].

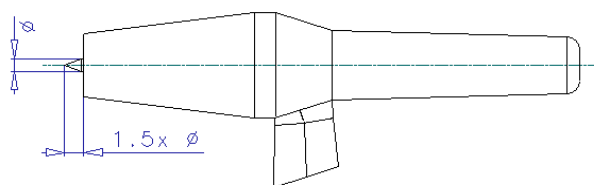


Obr. 2.7.1 Doporučené broušení elektrod

- a) přímá polarita malé proudové zátěže
- b) přímá polarita
- c) střídavý proud
- d) strojní svařování přímá polarita

Vysvětlivky:

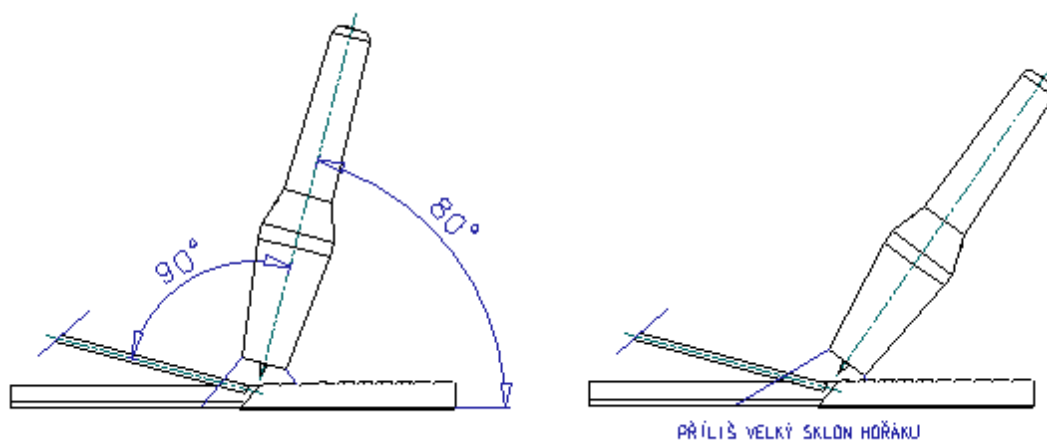
- D – průměr elektrody
- L – délka nabroušení kužele
- V – úhel broušení
- R – rádius broušení



Obr. 2.7.2 Znáznornění vysunutí elektrody

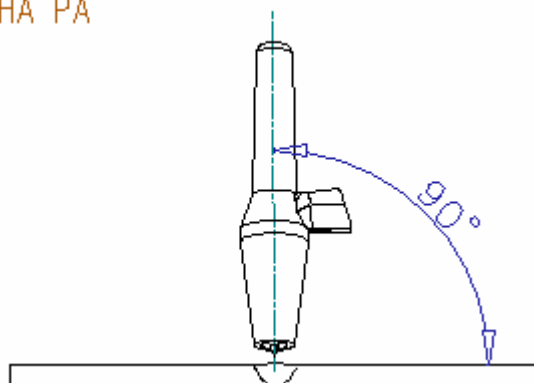
2.8 Směřování a sklon hořáku v polohách

Geometrii a ochranu svarové lázně ovlivňuje správné nastavení hořáku vůči základnímu materiálu. Zásady při svařování TIG/WIG zobrazené na Obr. 2.8.1. Označení poloh je dle ČSN EN ISO 6947.



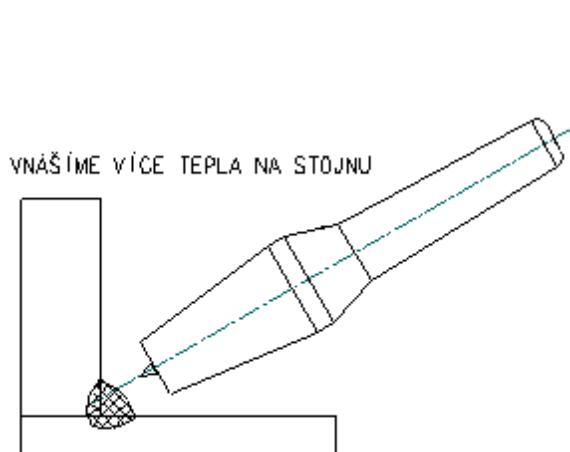
Obr. 2.8.1 Sklon hořáku vůči základnímu materiálu v poloze PA

POLOHA PA

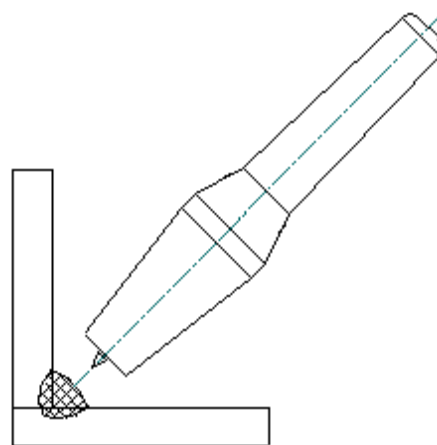


Obr. 2.8.2 Čelní pohled na tupý spoj a sklon hořáku. Měl by se pohybovat mezi 90 až 80 stupni.

Při sváření koutového svaru v poloze PB je důležité správné nastavení hořáku. Pokud by se sklon hořáku nedodržel, budou vznikat vady svaru, jako jsou nestejnomyšnost svaru pŕípadně vruby. Sváreč musí sledovat stejnoměrné natavení stojiny i pásnice, viz Obr. 2.8.3. Vliv nestejnoměrné tloušťky viz Obr 2.8.4.

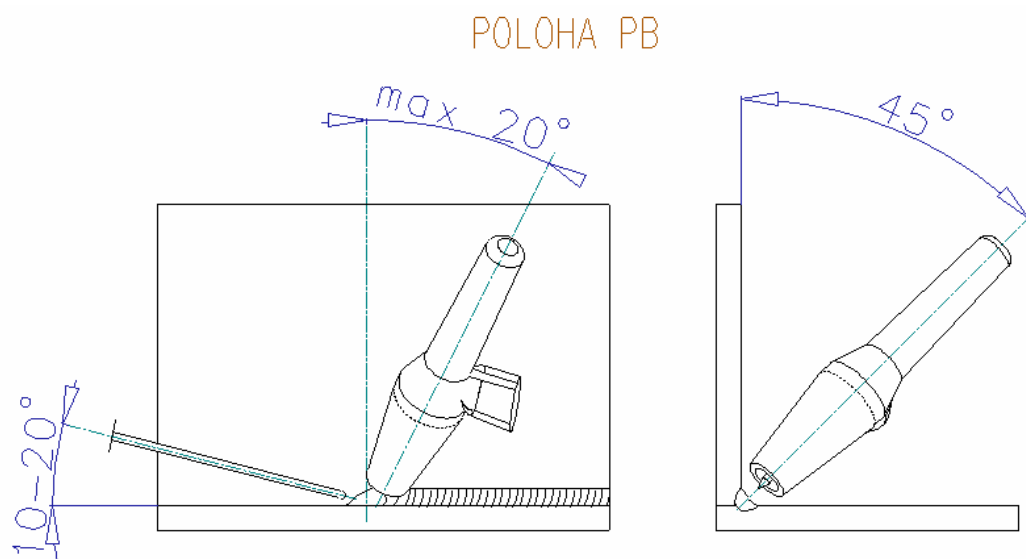


Obr. 2.8.3 Koutový spoj



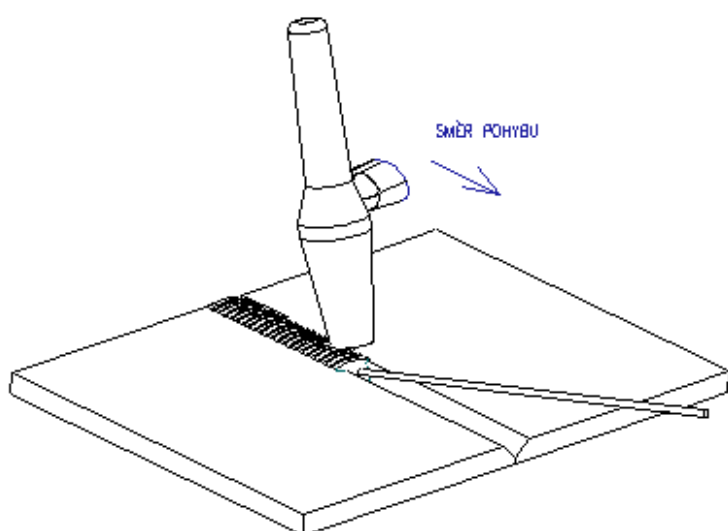
Obr. 2.8.4 Koutový nestejnoměrný spoj

Sklon elektrody má vliv na ochranu svarové lázně tím, že omezuje vady. Špatný sklon hořáku má za následek pórovitost a špatný tvar krycí vrstvy. Vzdálenost elektrody má vliv na stabilitu oblouku, držíme se v oblasti, kdy je oblouk stabilní [1].



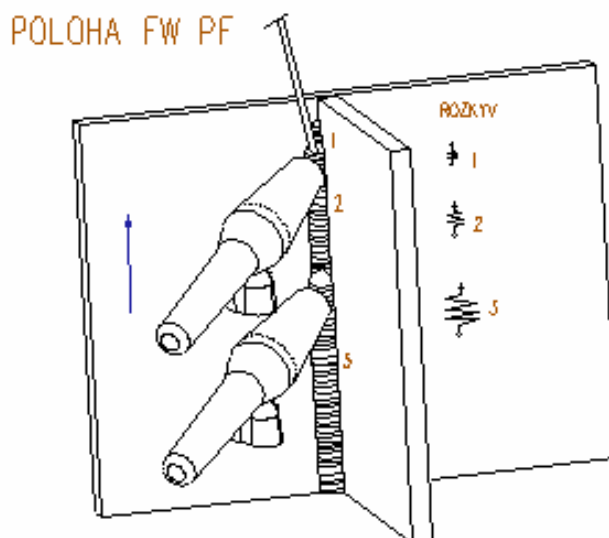
Obr. 2.8.5 Sklon hořáku při koutovém sváru poloha PB

ZPŮSOBY SVAŘOVÁNÍ V POLOHÁCH: BW PA a FW PF



Obr. 2.8.6 BW – tupý spoj

Na Obr. 2.8.6 je znázorněné svařování tupého V-spoje s otupením bez mezery. Tento způsob se používá např. pro svařování Al slitin. Druh materiálu je třeba zohlednit při přípravě svarových ploch, každý materiál má jiné nároky.



Obr. 2.8.7 FW – koutový spoj

Na Obr. 2.8.7 je vidět svařování koutového svaru v poloze PF. Je vidět první, druhá i třetí krycí vrstva. Je znázorněn i rozkryv hořáku při tvorbě druhé a třetí vrstvy.

3. Konstrukce svařovacího pracoviště

Hlavní těžiště mé práce spočívalo v sestavení aparatury, která by umožnila provádět přesně definovaným způsobem svařování aluminidu a zároveň snímat během svařování hodnoty, které by pak dále mohly být použity pro vytvoření matematického modelu procesu.

Vzhledem k obtížné svařitelnosti aluminidů byla zvolena svařovací metoda TIG/WIG, která patří k nejšetrnějším svařovacím postupům umožňující dobré čištění svařovaného materiálu a dobrý průvar. Z tohoto důvodu je tato metoda v praxi často využívána zejména pro svaření obtížně svařitelných materiálů.

Na základě předchozích zkušeností bylo třeba, aby zařízení umožňovalo provádět předehřev materiálu před svařováním až na 400°C. Dalším požadavkem, bylo zajistit regulovatelnou rychlost posuvu svařovacího hořáku v rozmezí 0 m/s – 0,0015 m/s.

3.1 Popis pracoviště

Navržené svařovací pracoviště (viz. Obr. 3.1.1) je sestaveno z těchto částí:

- 1) svařovací zdroj Migatronic Navigator 3000 AC/DC
- 2) zásobník s ochrannou atmosférou (tlaková láhev 300bar Argon 4.8)
- 3) svařovací hořák Migatronic 4m typ TIG 401
- 4) zařízení pro ohřev vzorku
- 5) lineární dráha
- 6) snímací zařízení



Obr. 3.1.1 Celkový pohled na svařovací pracoviště

3.1.1 Svařovací zdroj

Ke svařování byl použit svařovací zdroj Migatronic Navigator 3000 AC/DC-V, jehož parametry jsou uvedeny v Tab. 3.1.1.

Tab. 3.1.1 *Parametry svařovacího zdroje Migatronic Navigátor 3000 AC/DC*

Metoda svařování MMA-svařování obalenou elektrodou	TIG/WIG , MMA
TIG WIG-svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře plynu	
Typ	pojízdný invertor
Rozsah proudu I [A]	5-300 A
Zatěžovatel Dz 60%	240 A
Dovolené zatížení stroje při 40°C	
Napájecí napětí U[V]	3x400 V
Chlazení	voda
Svařovací hořák	Migatroni c TIG 401 4metry
Zemnicí kabel	3 m
Paměť nastavených parametrů Zařízení je vybaveno databankou od výrobce doporučených parametrů nebo uživatel může uložit používané parametry do paměti stroje.	20
Pulzace svařovacího proudu Možnost zařízení pracovat v režimu pulzace 2 přednastavených hodnot svařovacího proudu. Omezení tepelného příkonu do svaru, omezení deformací.	ano
Průměr elektrod Max.doporučený průměr obalených elektrod nebo svařovacího drátu.	6,0 mm
Typ svařovacího proudu DC-stejnsměrný proud AC-střídavý proud	AC/DC
Digitální měřicí přístroje	ano
Anti Stick Automatika proti tzv.nežádoucímu lepení obalených elektrod.	ano
Hot Start Automatické nebo manuální zvýšení svařovacího proudu při zapálení oblouku.	ano
TIG zapalování HF-bezdotykové zapalování Liftig-dotykové zapalování	HF, Liftig
Náběh proudu Doba stoupání ze startovacího na nastavený svařovací proud.	0-10 s

Doběh proudu	0-10 s
Doba klesání nastaveného svařovacího proudu k ukončovacímu proudu.	
Tzv. zavaření koncového kráteru.	
Spínání	2-, 4- takt
Způsob ovládání svařovací hořáku.	
2T-dvoutakt během svařování nutno držet spoušť	
4T-čtyřtakt pouze startovací a ukončovací impuls.	
AC balance	ano
Možnost nastavení poměru kladné čistící a záporné pracovní půlvlny při svařování AC svařovacím proudem.	
AC frekvence	1-300 Hz
Frekvence výstupního AC svařovacího proudu.	
Elektronické řízení	ano
Ovládání	plynulé
Podvozek	ano s držákem plyn.láhve
Pojistky	16 A
Krytí IP	23
Označení stupně ochrany zařízení.	
1.číslice=ochrana proti vniknutí cizího tělesa:	
1...cizí těleso>50mm	
2...cizí těleso12,5mm	
3...cizí těleso2,5mm	
4...cizí těleso1,0mm	
5...nános prachu	
6...prachu vzdorný	
2.číslice=ochrana proti vlhkosti:	
1...kapající voda kolmo	
2...kapající voda šikmo	
3...mlhovina	
4...stříkající voda	
5...vodní paprsek	
6...zatopení	
7...ponoření	
8...ponoření do hloubky	
Šířka	300 mm
Výška	563 mm
Délka	698 mm
Váha	54.00 kg
Netto váha zařízení.	
Barva	zelená

Zdroj byl navíc vybaven přídatným vodním chlazením. Jedná se o kompaktní svařovací zdroj pro dílnu i na montáž. Je určen pro svařování ocelového, nerezového, hliníkového a měděného materiálu metodou TIG/WIG a obalenou elektrodou. Řízení svařovacího proudu je možno také z rukojeti hořáku. Také je vybaven systémem D.O.C. pro kontrolu a automatický chod při svařování zoxidovaných povrchů.

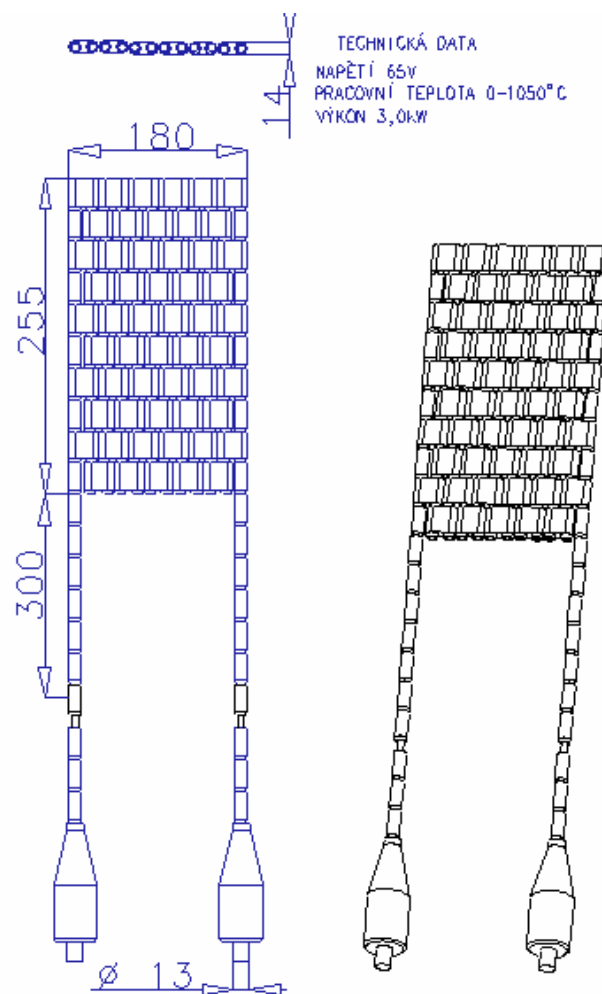
Data jsou ze stránky prodejce, protože výrobce už tento zdroj nahradil modernější řadou.

<http://www.naradi-24.cz/kat/svarovaci-technika/svarovaci-stroje/tig/migatronik-10028/>

3.1.2 Zařízení pro ohřev vzorků

Jedním z nejdůležitějších prvků celého zařízení bylo zařízení pro ohřev, protože bylo potřeba pokud možno přesně definovaným způsobem dosáhnout vysoké teploty 400°C. Nejprve jsem řešil otázku zdroje ohřevu. Jako nejrychlejší způsob se z počátku jevil ohřev pomocí plynového hořáku přes kovovou desku. Při tomto způsobu by však byl problém s přesnou regulací a navíc by se celá aparatura rozrostla o další tlakovou láhev. Z hlediska bezpečnosti a přesnější regulace se mi jevil lepší elektrický ohřev. Zvolil jsem plotýnku z vařiče o výkonu 2000W. Ta by mohla výkonem stačit. Jediný problém tedy byl s chlazením svorkovnice této plotny, protože bylo nutno zastavět tuto plotnu pod kovovou desku, která by předehřívala a zároveň upínala vzorek. Po dohodě s firmou SVARSERVIS GROUP, která mi byla ochotná poskytnout pouze topnou dečku bez žíhacího zdroje, jsem použil jako základ svého ohřívacího zařízení tuto dečku. Tato topná dečka viz Obr. 3.1.2 z keramiky a s topným drátem, o rozměrech 180x255x300/11mm, ohřívala desku z oceli X8CrNiTi18-10 (17248) o rozměrech 250x400/20mm. Deska sloužila k akumulaci tepla a jeho rovnoměrnému rozložení. Na desku byly pomocí svařovacích upínek připevněny vzorky, které se následně svařovaly. Celou soustavu nazývám svařovací stolek, detail s upnutými zkušebními vzorky viz Obr. 3.1.3. Zařízení funguje s přepínáním na přímý ohřev a regulovaný ohřev přes autotransformátor. Když se začne nahřívat, zapne se přímý ohřev a po dosažení teploty se přepne na regulaci přes autotransformátor. Tak můžeme udržovat požadovanou teplotu libovolně dlouho. Pouze musíme vědět, jakou hodnotu napětí musíme na stupnici nastavit, aby se udržovala požadovaná teplota.

Bylo zapotřebí provést měření náběhu teploty včetně toho, o kolik teplota ještě vystoupá po vypnutí ohřevu a jak se bude deska ochlazovat.



Obr. 3.1.2 Znáznornění topné desčky



Obr. 3.1.3 Detail svařovacího stolku

3.1.2.1 Zařízení pro předehřev svařovaných vzorků elektroinstalace

Předehřívání vzorku je rozděleno do dvou fází

a) – ohřev bez regulace (rychlý)

b) – ohřev regulovaný

a) Ohřev

Pro rychlý ohřev se počítá s použitím pomocného transformátoru s výkonem 4kW bez regulace. Zahřátí se provede sepnutím vinutím AB v sérii s vinutím CD při použití síťového napětí 230V. Toto zapojení umožňuje plný ohřivací výkon dečky (~3,5kW/~50) viz Obr. 3.1.4. a **A1**. Po dosažení teploty 400 až 600°C se zařízení vypne a provede se přepojení podle Obr. 3.1.6.

V tomto zapojení bude zařízení provádět udržování teploty, podle předem ověřených hodnot např. teplotu 200 °C udržujeme, když nastavíme hodnotu napětí na transformátoru na 20V.

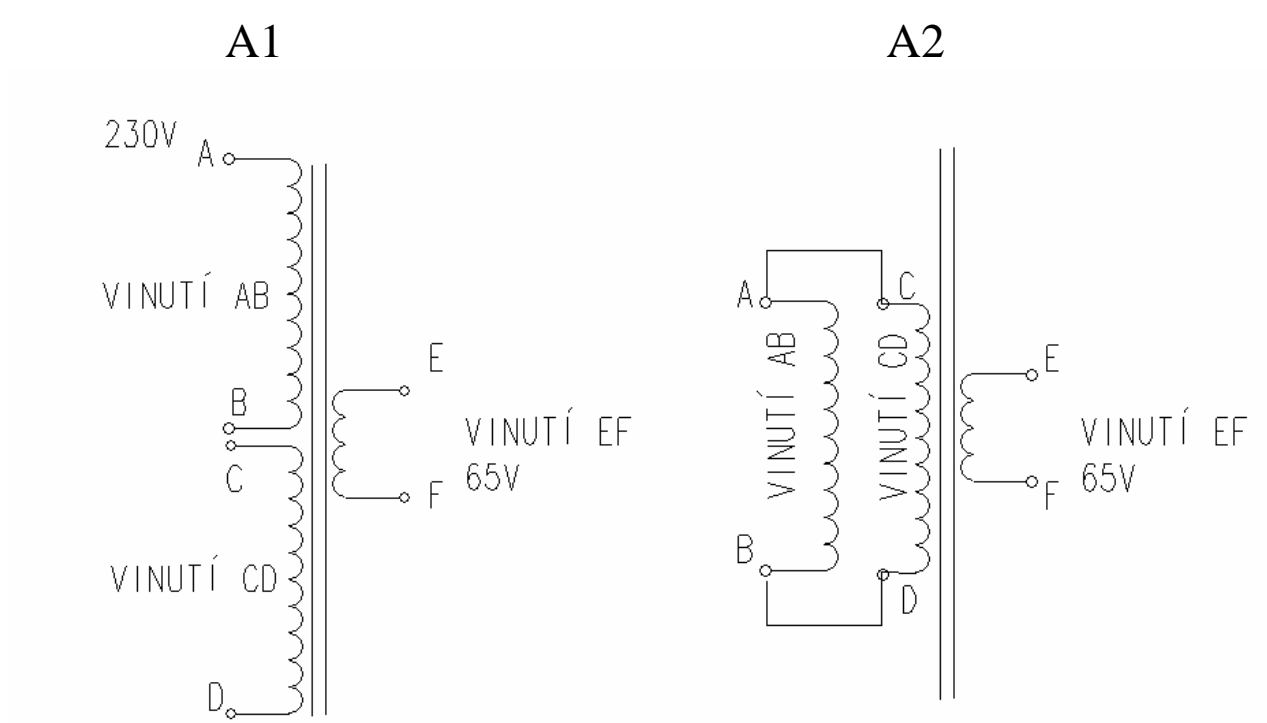
b) Regulace

Pomocné trafo se dle Obr. 3.1.4 a **A2** přepne, aby vinutí AB pracovalo paralelně s vinutím CD~115V. Pro dodržení teploty se předpokládá ztráta v pásmu asi 300W. Aby bylo možno provádět regulaci plynule, předběžně se navrhuje pro regulaci použít:

1. autotransformátor 120/220V, 16/20A
2. případného automatického regulátoru napětí
3. pomocné trafo doplnit odbočkami ve vinutí

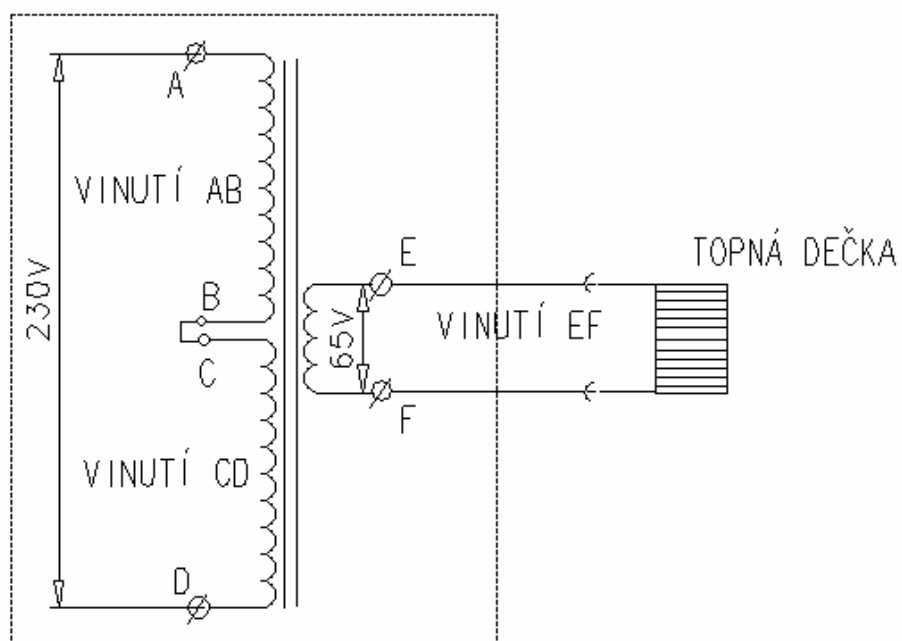
Použití uvedených regulátorů předpokládám pouze pro snížený výkon (doplnění ztrát). Zde bude nutné prověřit proudová zatížení na konstrukci navržených regulátorů (jejich proudová zatížení při použití snížených napětí)

Stávající autotransformátor nelze samostatně použít, protože při plném výkonu by část vinutí 0 až 65V byla zatížená proudem až 50A. Podle štítku je vinutí konstruováno do ~40A. Transformátor byl použit, aby celkové náklady na zařízení byly nižší.



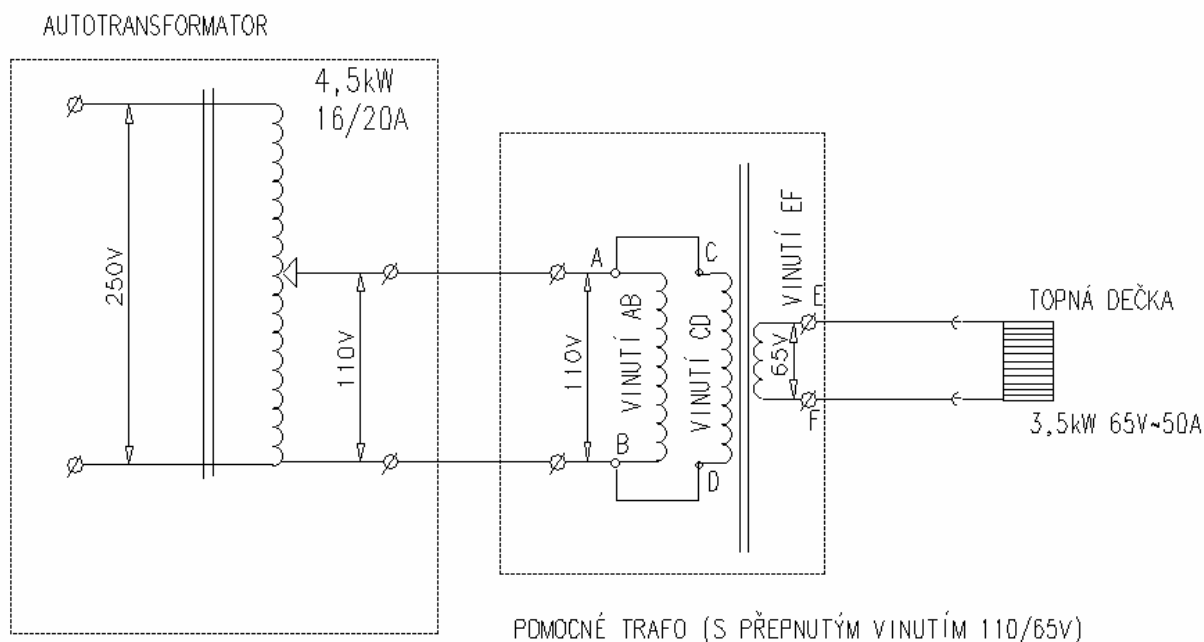
Obr. 3.1.4 Schéma zapojení topné dečky

SCHEMA OHŘEVU



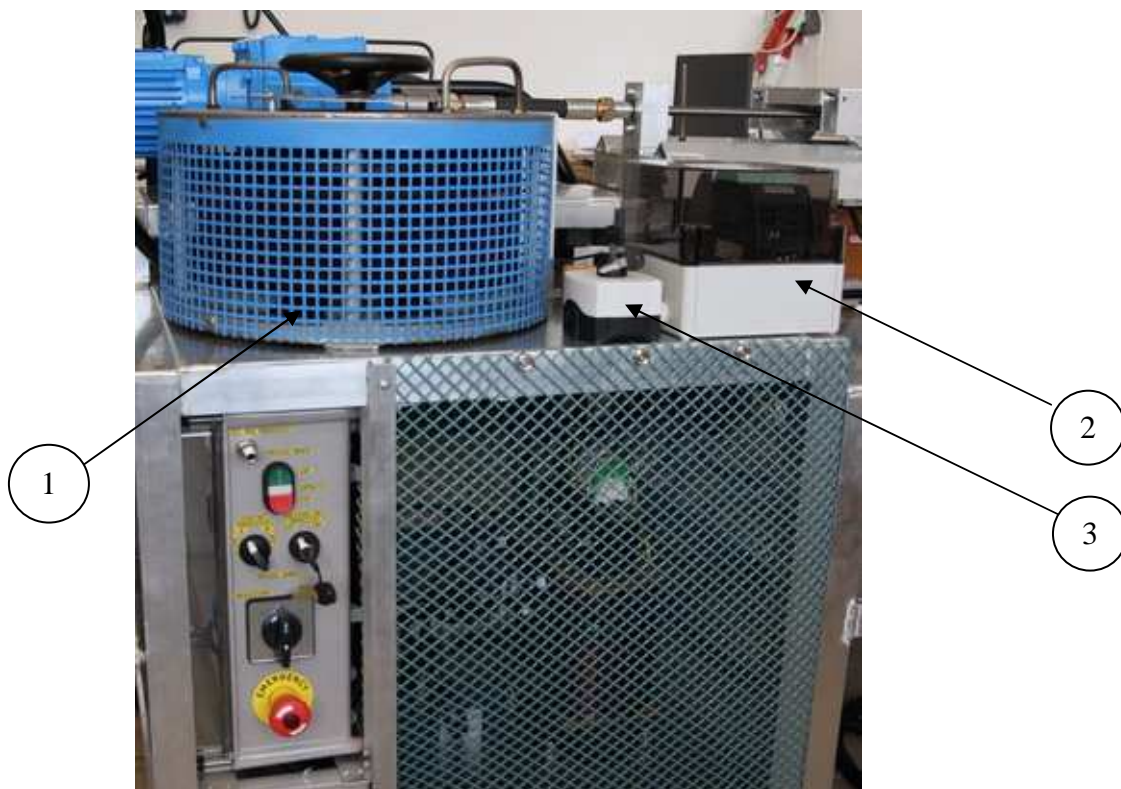
POMOCNÉ TRAFÓ (S PŘEPNUTÝM VINUTÍM 230/65V)

Obr. 3.1.5 Schéma zapojení ohřevu

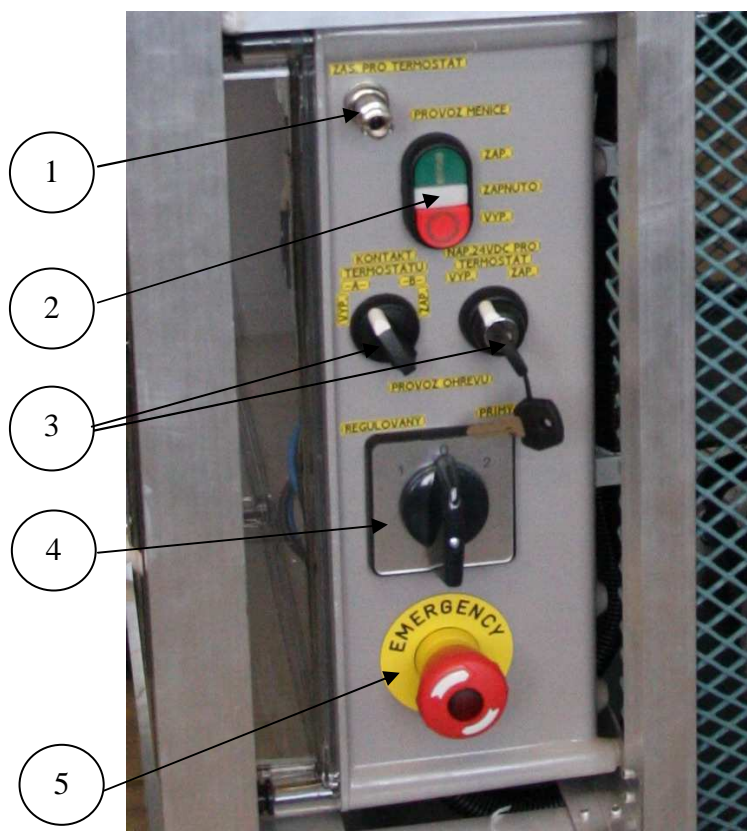


Obr. 3.1.6 *Schéma zapojení regulovaného ohřevu*

Hlavní část celého zařízení jsem zobrazil na Obr. 3.1.7 a 3.1.8, jsou zde vidět ovládací prvky a bezpečnostní prvky. Je počítáno i s budoucí instalací teplotních čidel, která by mohla regulovat zařízení podle poklesu nebo nárůstu teploty přímo na svařovacím stolku. Nyní se zařízení zapojí a následně se přivaří termočlánky a sleduje se, jak teplota narůstá. Jakmile se přibližujeme k požadované teplotě předehřevu, snížíme napětí pomocí autotransformátoru a pouze regulujeme případné výchyly. Toto je důležité zejména při opětovném svařování, kdy potřebujeme vědět, jakou teplotu nám deska drží, a sledujeme, kdy je opět nový kus připraven ke svařování. Je důležité dbát opatrnosti při manipulaci se vzorky zejména, když je stůl už předehřátý. Velkým přínosem pro snadnou manipulaci se vzorky jsou použité typy upínky. Ty mají tu výhodu, že se nastaví na určitou tloušťku materiálu a pak se snadno zajišťují. Dokonce pokud je potřeba změnit tloušťku vzorku, povolí se pouze zajišťovací matice a velmi snadno se upraví pomocí šroubu nová výška upínání.



Obr. 3.1.7 Ovládací prvky pracoviště, 1- Autotransformátor, 2- ovládání frekvenčního měniče, 3- pojistný klíček pro odblokování koncových spínačů

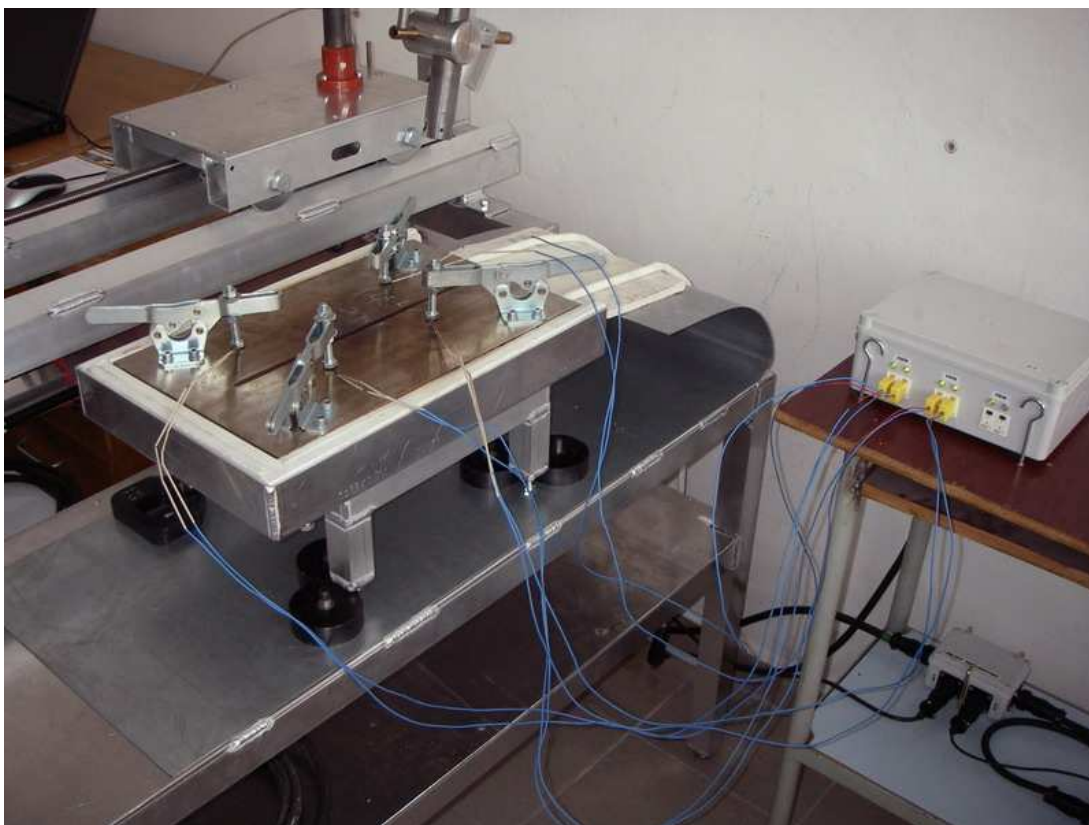


Obr. 3.1.8 Spínací prvky, 1- Zásuvka termostatu, 2- Spouštění frekvenčního měniče, 3- Spínače termostatu, 4- Spínání ohřevu regulovaného a přímého ohřevu, 5- Stop tlačítko.

3.1.2.2 Měření teplot termočláanky

Během prvních testů zařízení pro ohřev bylo potřeba zjistit čas, jaký je potřeba k dosažení potřebných teplot a také jak nastavit regulátor, abychom potřebnou teplotu dokázali regulovat. Například během výměny vzorků. Bylo důležité se soustředit na teploty, které budou potřeba pro následné experimenty. Předpokládaly se teploty předehřevu 200°C a 400°C. Proto se stanovil čas náběhu na tyto maximální teploty. Termočláanky se umístily symetricky od osy ohřívací desky pod upínky. Po dokončení testu rychlosti náběhu a při ohřevu na uvedené teploty, se určilo vhodné nastavení autotransformátoru pro udržování teplot.

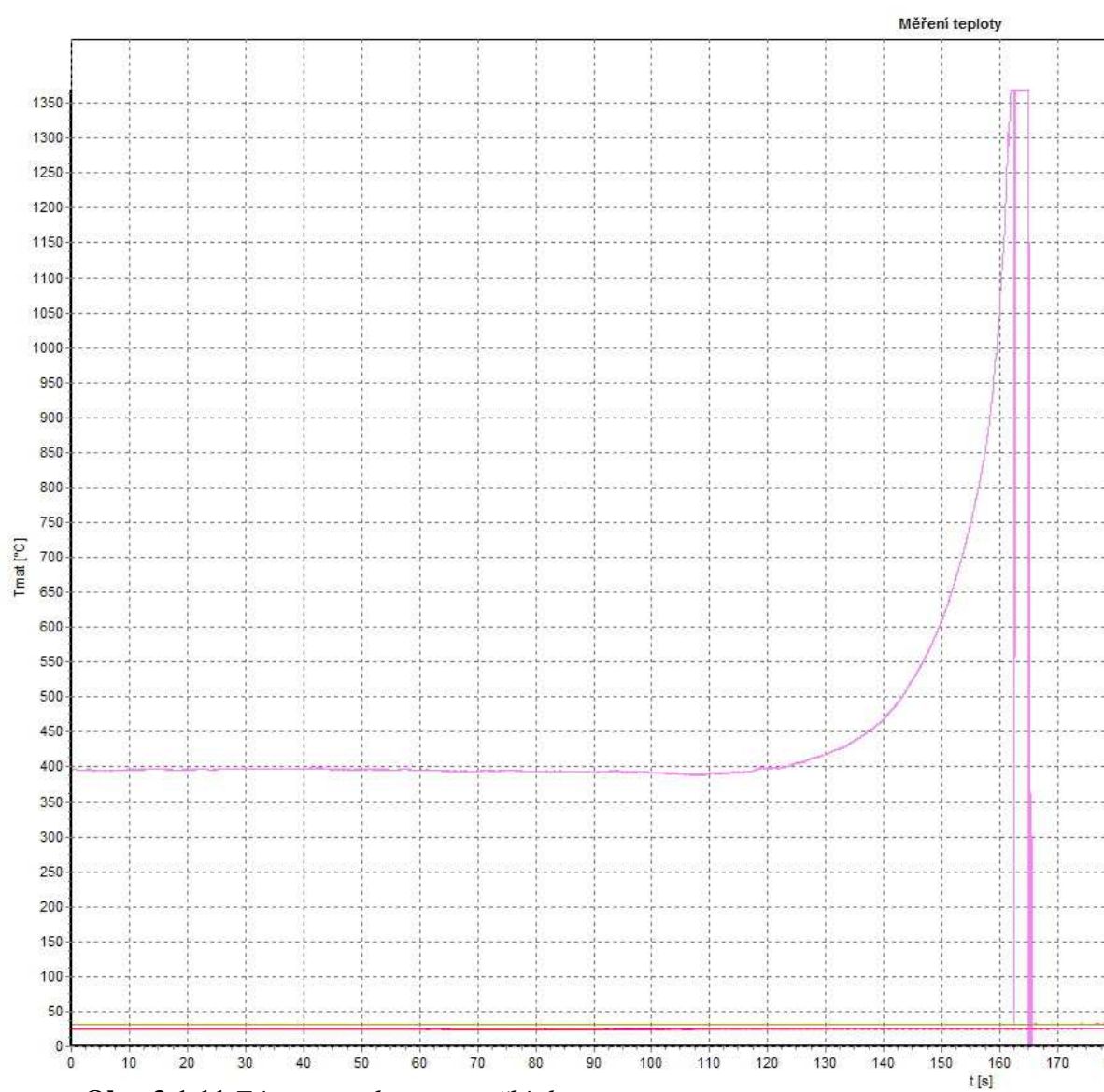
Zkušební měření se provádělo tak, že konce termočláanek jsme upnuli pod upínkami. Ovšem během zkoušek se termočláanky svařovaly přímo na vzorky do oblasti teplem ovlivněného pásma- viz Obr. 3.1.10 a na Obr. 3.1.11, kde je záznam průběhu teploty při svařování. Termočláanek po dosažení teploty přes 1300°C odpadl.



Obr. 3.1.9 *Upnutí termočláanek Ni-Cr-Ni*



Obr. 3.1.10 *Místo umístění termočlánu v blízkosti svaru*



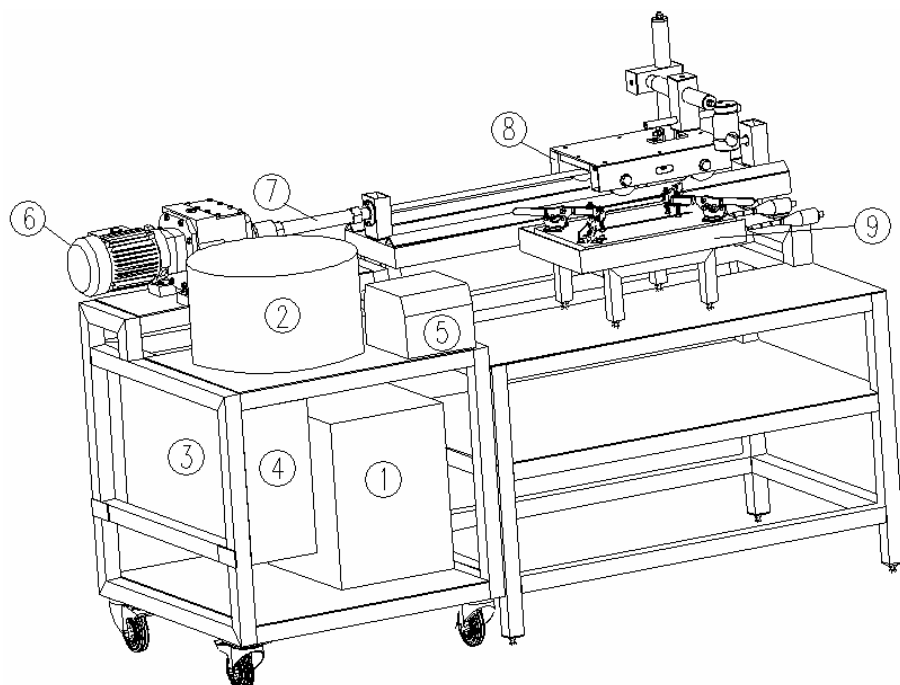
Termoelektrické napětí z termočlánků se měří a údaje se přenášejí přímo do počítače prostřednictvím WeldMonitoru. U zkušebních svarů se měření provádělo čtyřmi termočlánky. Termočlánky se přivařily k plechu pomocí kondenzátorové svářečky na předem zvolená místa. Před přímým účinkem svařovacího oblouku během vlastního měření se termočlánky překryly stínícím plechem.

3.1.3 Lineární dráha

Bylo potřeba zařízení, které by bylo schopno pohybovat svařovacím hořákem přesně danou rychlostí po lineární dráze.

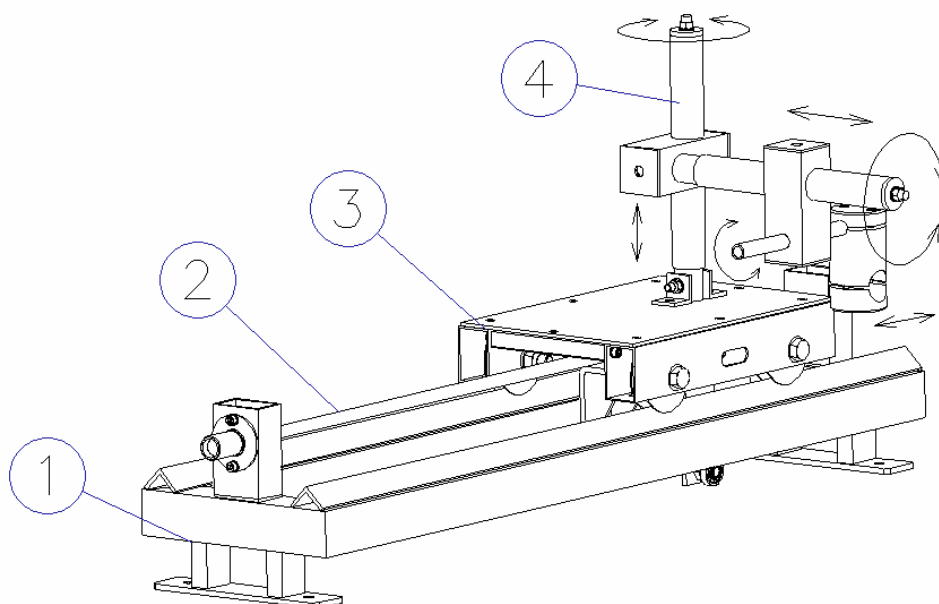
3.1.3.1 Popis lineární dráhy

Lineární dráha je navržena tak, že průměrná rychlost svařování odpovídá rychlosti pojezdu vozíku 0.6mm/s. Rychlost ovládá frekvenční měnič a příslušná rychlost odpovídá frekvenci 40Hz. Vazbu mezi rychlostí pojezdu a nastavenou frekvencí měniče lze sledovat v Tab. 3.1.2 Pohon vozíku je zajištěn motorem SIEMENS D48-LA71ZMP4 s převodovkou pomocí trapézového šroubu Tr14/3 s matkou upevněnou ve vozíku. Šroub a převodovka je spojen pomocí pružné hydraulické hadice, která funguje jako spojka. Toto řešení snižuje nároky na souosé sestavení obou dílů. Motor a převodovka jsou upevněny na pojízdném stole společně s ovládáním měniče, ovládáním koncových spínačů, autotransformatorem, transformátorem, rozvaděčem a ovládacími prvky. Kolej lineární dráhy a vozík s hnacím šroubem jsou upevněny ke stolu se stavitelnou výškou. Na ten je položený i stolek s topným zařízením s možností vyrovnaní pomocí stavěcích šroubů do vodorovné polohy. Vozík s kolečky je spojen šrouby se stolem lineární dráhy, aby byl celý celek pevný. Mobilní systém je zvolen pro snadnější manipulaci se zařízením. Schéma svařovacího pracoviště je na Obr. 3.1.12 a na Obr. 3.1.13 je detail lineární dráhy s držákem hořáku.



- 1- Sloupkový transformátor
- 2- Autotrasformátor regulační
- 3- Rozvaděč
- 4- Ovládací prvky
- 5- Frekvenční měnič
- 6- Motor a převodovka
- 7- Pružná spojka
- 8- Lineární dráha
- 9- Svařovací Stolek s Topnou dečkou

Obr. 3.1.12.: Schéma svařovacího pracoviště



- 1- Rám kolej dráhy
- 2- Trapézový šroub pr14/3
- 3- Vozík
- 4- Držák hořáku stavitelný

Obr. 3.1.13 Detail lineární dráhy s držákem hořáku

3.1.3.2 Nastavení rychlosti pojezdu hořáku

Rychlost svařování, je dána rychlostí otáčení motoru s převodovkou ovládanou frekvenčním měničem. Ten přes pružnou spojku přenáší točivý moment na trapézový šroub se stoupáním 3mm. Hodnoty rychlosti jsou reálné rychlosti vozíku, který nese hořák svářečky.

Při návrhu zařízení se vycházelo z předchozích zkušeností se svařováním aluminidu. Za předpokladu, že bude potřebná rychlost pojezdu hořáku zhruba 3.6cm/min, byla zvolena převodovka, která této hodnoty dosáhne v oblasti 40Hz, což je ideální pro motor vzhledem k zatížení. Maximální hodnota frekvence je přednastavena na 100Hz, to odpovídá rychlosti pojezdu 9cm/min. V případě potřeby by se dala krátkodobě frekvence zvýšit až na 200Hz, ale mělo by to negativní vliv na motor a převodovku. Další možnou modifikací je změna zvoleného šroubu a matice, To by ale znamenalo větší zásah do konstrukce. Následné experimenty potvrdily vhodnost zvolené koncepce konstrukce i parametrů.

Závislost mezi hodnotami frekvence na displeji frekvenčního měniče, otáčkami převodovky a z toho vyplývající rychlosti posuvu vozíku lineární dráhy jsem zpracoval do tabulky (viz. Tab. 3.1.2).

Tab. 3.1.2 Rychlost posuvu lineární dráhy

Rychlosti pojezdu hořáku									
Nastavená frekvence frekvenčního měniče (Hz)	10	20	25	30	35	40	45	50	100
Rychlost pojezdu (cm/min)	0.9	1.8	2.3	2.7	3.1	3.6	4	4.5	9
Otáčky šroubu (ot/min)	3	6	7.5	9	10.5	12	13.5	15	30

4. Experimentální část - svařování zkušebních vzorků

V experimentální části jsme řešili konkrétní problematiku spojenou se svařováním aluminidu železa.

4.1 Příprava svarových ploch

Výchozí polotovary pro svařování vykazovaly z výrobního procesu různé odchylky od rovinného tvaru (prostorové deformace způsobené válcováním a nedokonalým vyrovnáním). Vzorky bylo před svařováním nutno pečlivě vybrat. Naší snahou bylo, aby svar byl pokud možno na rovné ploše, případné nerovnosti vzorků se odstranily opatrným broušením hrncovou bruskou.

Dalším krokem bylo odstranění oxidů v oblasti svaru a v místě budoucího přivaření měřících termočlánků drátěným kartáčem z nerezavějící oceli, případně brusným či lamelovým kotoučem. Čistění probíhalo tak, aby se polotovary co nejméně ohřály a ovlivnila se hladina vnitřního pnutí.

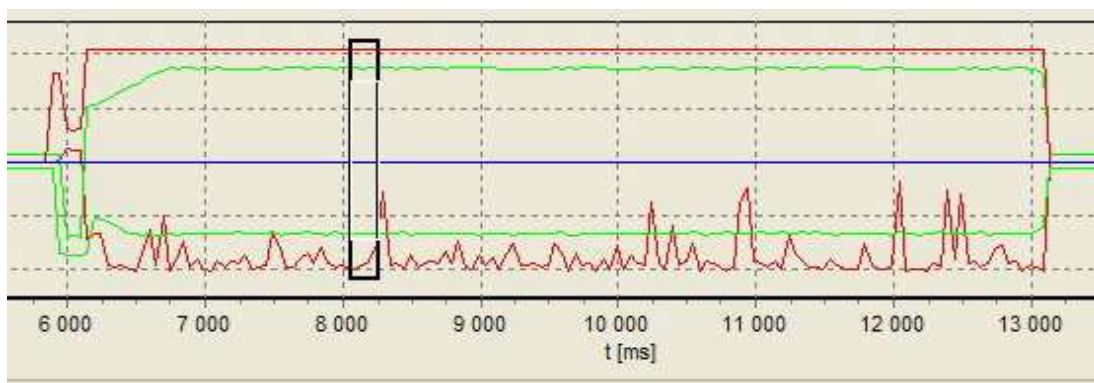
Během experimentu bylo zjištěno, že některé vzorky obsahující v povrchových trhlinách zbytky oleje z lázně, ve kterých se ochlazovaly po dokončení válcování. Před svařováním se nečištění odstranilo vypálením v peci při teplotě 450°C po dobu 1 hodiny.

4.2 Určení vhodnosti druhu svařovacího proudu a polarity

První ověřovací zkoušky se realizovaly na vzorcích, které byly menší než finální zkušební kusy. Bylo to z důvodu nedostatku materiálu. Použité polotovary byly opětovně připravovány k dalším testům stejným postupem, jak bylo uvedeno shora.

V prvních testech byla posuzována vhodnost použití střídavého proudu analogicky, stejně jako u slitin na bázi Al, kde povrch materiálu je pokryt vrstvou oxidu hliníku. Oblouk byl však díky střídání polarit a hodně zoxidovanému povrchu nestabilní. Povrch vzorků má příliš odolnou vrstvu oxidů, kterou bylo potřeba předem odstranit. Moderní invertorové zdroje umožňují upravovat tvar a trvání jednotlivých půlvln proudu. Realizovány byly pouze krátké nátahy a ověřovaly se různé parametry nastavení stroje. Snahou bylo šetřit elektrodu prodloužením času, kdy je na elektrodě mínus pól

. Záznam z monitorovacího systému ukázal, že pokud je vzorek s předem mechanicky odstraněnou vrstvou oxidu, systém D.O.C na zdroji vynechává občas kladnou půlvlnu, jak je vidět na Obr. 4.2.2., z časové lupy z celkového záznamu na Obr. 4.2.1. (D.O.C je systém, který využívá zdroj pro zvýšení produktivity). Podle napětí na oblouku řízení zdroje pozná, zda je povrch pokryt oxidy a podle toho volí, kdy lze vynechat kladnou půlvlnu a tím zvýšit produktivitu a zlepšit průvar.



Obr. 4.2.1 Záznam proudu a napětí během svařování. Výřez je znázorněn černým obdélníkem.



Obr. 4.2.2 Detail výřezu (na Obr. 4.1.1 černý obdélník), zeleně je zobrazen proud, červeně napětí

Na základě předchozích zkoušek se v další zkoušce ověřovala, vhodnost použití stejnosměrného proudu s přímou polaritou a pečlivé odstranění oxidů před svařováním u vzorků v oblasti svaru. Není to neobvyklý postup. Praxe říká, že každý materiál, který je pokryt vrstvou zhoršující podmínky při svařování se musí očistit. Přímá polarita šetří elektrodu a nedochází ke vzniku kaloty na jejím konci. Teplo se u přímé polarity rozděluje přibližně v poměru 1/3 na elektrodě a 2/3 jdou do materiálu, proto je vyšší průvar. Celý proces je více stabilní, oblouk hoří klidně.

Při prvních svařovacích experimentech bylo zjištěno, že vysokofrekvenční zapalování nepříznivě ovlivňuje činnost monitorovacího systému. Docházelo k neustálým výpadkům záznamového zařízení. Tento problém byl vyřešen přechodem na dotykové zapalování. Nejspolehlivější zapálení oblouku bylo nakonec dosaženo použitím pomocné grafitové elektrody, zajišťující počáteční zkrat mezi základním materiálem a wolframovou elektrodou.

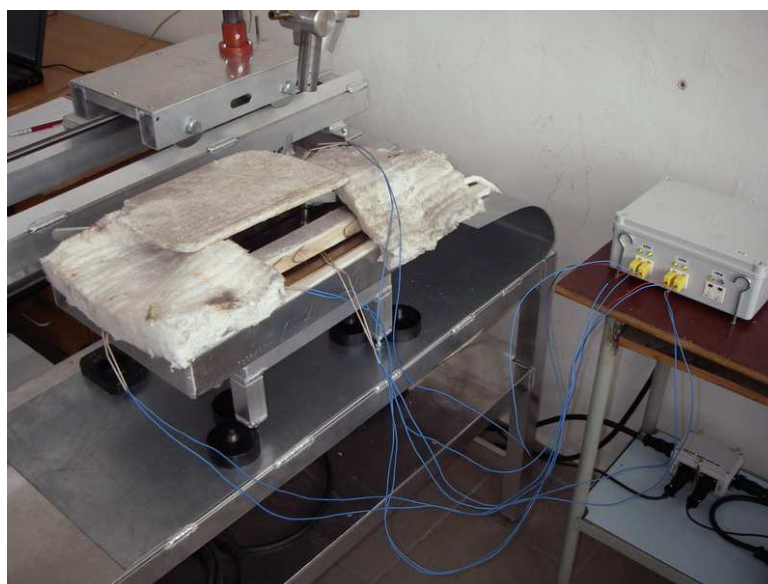
4.3 Kontrola a sledování svařovacího procesu

Pro úspěšné monitorování svařovacího procesu je potřeba pro obsluhu alespoň dva pracovníky. Svářeč musí sledovat svarovou mezeru a vlastní svařovací proces. Další pracovník ovládá nastavení frekvenčního měniče a tím zahájení posuvu hořáku. Svařovací proud a další parametry se nastavují před započetím experimentu.

Cílem experimentů bylo stanovení podmínek, ve kterých se dosahuje uspokojivé kvality svarů z hlediska jejich geometrie. Detailnější zkoumání kvality svarů v závislosti na změnách nastavených parametrů, je náplní dalších navazujících prací. U všech zkušebních svarů byl realizován záznam sledovaných veličin procesu a bylo tak možno dodatečně sledovat i realizované zásahy do procesu během experimentu.

Pro jemné ovládání polohy hořáku (mírný rozkyv) se dalo využívat vůle v držáku hořáku. Bylo možno reagovat na chování svarové lázně a dosáhnout tak v případě potřeby spojení obou natavených materiálů. Nepříznivě se totiž projevuje vysoké povrchové napětí, které brání slití obou natavených polotovarů do společné lázně. Po vytvoření tavné lázně odpovídající velikosti na začátku svařovacího procesu, byl zapnut pojezd hořáku. Sledovala se mezera mezi svařovanými díly a nutné jemné korekce nastavení hořáku se během svařování realizovaly pomocí stavěcího šroubu na držáku hořáku.

Nesporná výhoda použitého držáku byla v tom, že měl hrubé i jemné nastavení výšky elektrody vůči základnímu materiálu a také hrubé a jemné nastavení vzdálenosti hubice od dráhy. Další podstatnou výhodou byla možnost po skončení svařování celý držák odklopit, aby nepřekážel v manipulaci s rozžhaveným vzorkem. To urychlilo přesunutí svařeného vzorku do pece. Držák se odklápěl i během přehřevu vzorků. Umožnilo se zakrytí vzorků sibralem, aby nedocházelo ke zbytečným ztrátám tepla (viz. Obr. 4.3.1) a zbytečnému ohřevu hořáku.



Obr. 4.3.1 *Izolování vzorků během ohřevu*

Po odejmutí izolace se hořák pouze sklopil do předem ověřené a nastavené pozice a bylo možné zahájit svařování. Vyklápění hořáku bylo výhodné i při výměně elektrody nebo při jejím broušení. Odklopení hořáku je zřejmé z Obr. 4.3.2.



Obr. 4.3.2 *Odklopení hořáku při upínání vzorků*

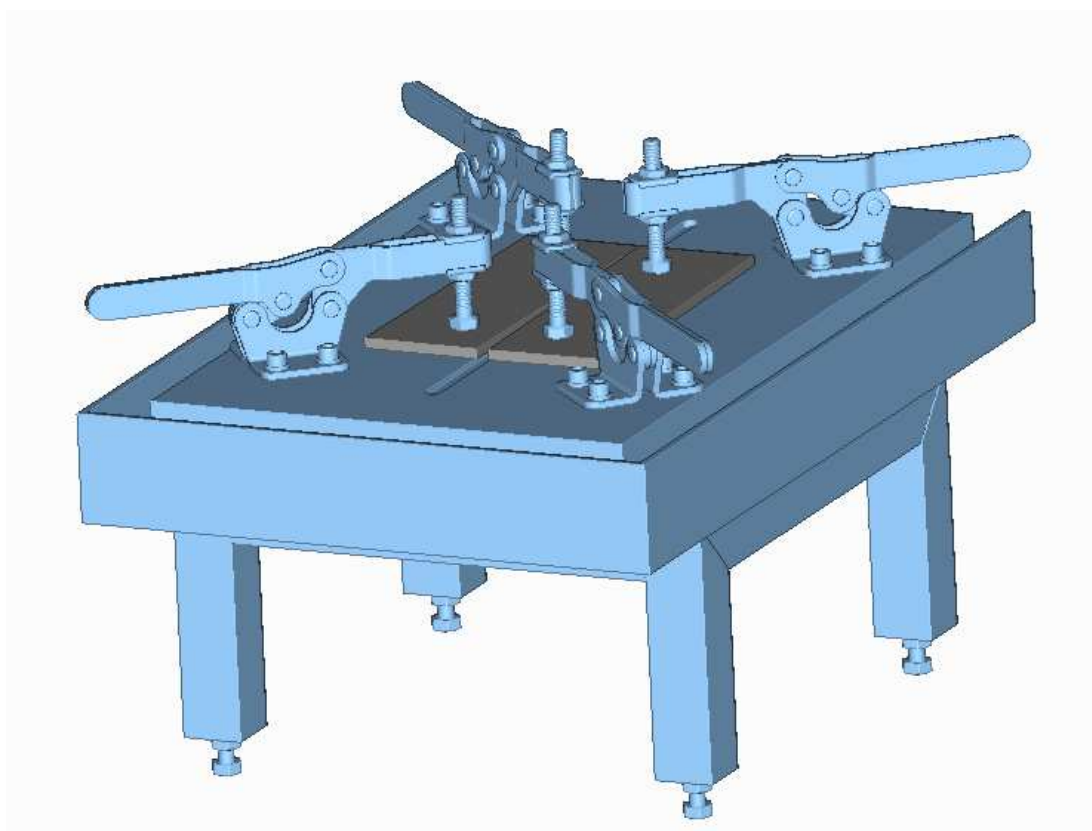
Vzorky se upínají pro svařování pomocí vodorovných svařovacích svěrek. Běžně se používá k minimalizaci deformací a odstranění nežádoucího posunu stehování vzorků. U aluminidů je ovšem reálné riziko praskání stehu. Proto se svařovaly vzorky bez stehů. Během svařování se materiál přirozeně stahuje, pokud se s tím nepočítá, dojde až k tzv. střížení, jeden vzorek se dostane přes druhý. Proto se polotovary na začátku svaru nastavovaly bez styčné mezery a na konci se nastavilo rozevření pět i více milimetrů podle tloušťky materiálu. Díky rozevření se ve vzorcích snížilo napětí a i geometrie svarů se výrazně vylepšila.

Zařízení pro předehřev vzorků a konstrukce pojezdového zařízení hořáku navazuje na výzkum svařitelnosti tohoto materiálu, který byl prováděn v minulosti na katedře strojírenské technologie. Výsledky předchozích experimentů prokázaly, že nejlepších výsledků při ručním svařování bylo dosaženo s předehřevem základního materiálu na 400°C a dohřevem v peci na 700°C po dobu 2 hodin. Chladnutí probíhalo v peci přibližně 70°C/hod.

4.4 Popis experimentů

4.4.1 Svařování tupých spojů

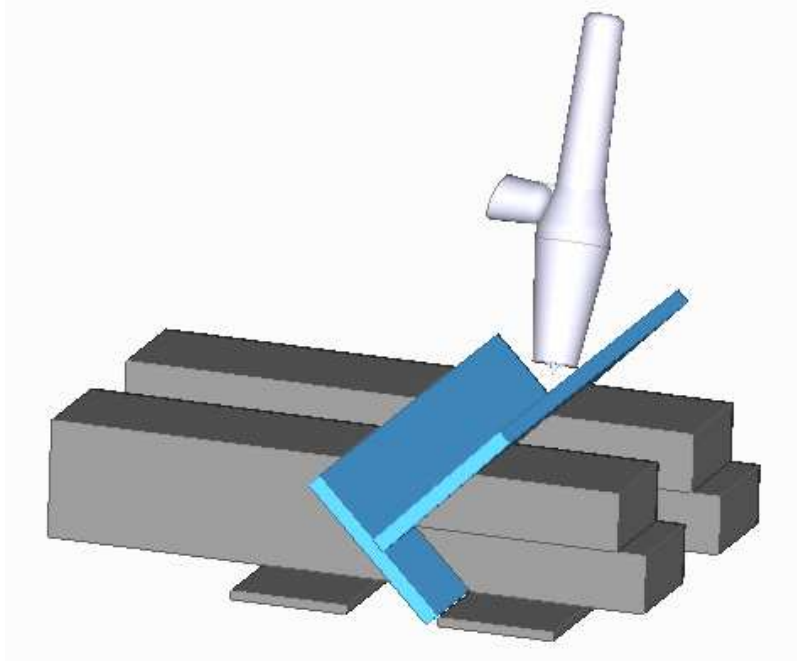
Tupé spoje jsme svařovali přímo na ohřívací desce v poloze PA podle ISO 6947. Pokud nebyla zajištěna ochrana kořene svarů, nespojoval se natavený materiál a vznikaly vady kořene. Bylo zřejmé, že to způsobují oxidy, vznikající na nechráněné straně vzorku. Zajistit ochranu kořene přívodem ochranné atmosféry by však bylo problematické a bylo by nutné provést úpravy na přípravku. Proto bylo pro zajištění ochrany svaru v kořeni a formování svaru použito dostupné bazické tavidlo, určené pro svařování pod tavidlem F 205. Tavidlo bylo předem vysušené při 200°C po dobu 3 hodin. Po aplikaci tavidla došlo k výraznému zlepšení a kořen byl uspokojivý. Svary s provařeným kořenem vykazují odolnost vůči praskání. Po svařování byl realizován již otevřený postup s dohřevem v peci a pomalým chladnutím v peci do teploty alespoň 100°C. Tento postup zabránil i šíření vad, které již v materiálu byly před svařováním a vlivem pnutí se mohly dále šířit. Na Obr. 4.1.1 je pohled na stůl s upnutými polotovary ke svařování.



Obr. 4.4.1 Zobrazení přípravku pro tupé svary včetně stolu s upínkami.

4.4.2 Svařování koutových spojů

Na Obr. 4.2.2 je vidět upnutí zkušebních vzorků pro svary do úžlabí. Hořák je směřován jako v poloze PA podle ISO 6947. Svary v úžlabí jsou z hlediska automatu jednodušší než směřování hořáku do polohy PB podle ISO 6947. Proto byl zvolen tento způsob. Přípravek tvoří jen dvě příložky, které svírají zkušební vzorky. Příložky jsou seříznuté na 45° a 90° . To přesně určí naklonění konečného spoje. Příložky se na jedné straně sevrou upínkami. Opět se svařovaly vzorky bez stehování. Stojina se posune po základně vlivem deformací.



Obr. 4.4.2 Zobrazení přípravku pro koutové svary

Je otázka, jestli by stehy mohly udržet namáhání vyvolané vnitřním pnutím v materiálu. Opět by se musel vyřešit problém, jak dlouhý by steh musel být a jak zabránit jeho prasknutí během chladnutí. Musela by se nejspíš zajistit vysoká teplota interpass. To může být úkolem dalších prací.

4.4.3 Popis realizovaných zkušebních svarů

Každý realizovaný zkušební svar se prováděl na polotovarech, které neměly standardní rozměry z hlediska dalších zkoušek. Jednalo se vesměs o odřezky a zbytky. Ovšem pro určení základních parametrů procesu byly vyhovující. Většinou byly kratší než vzorky, které byly připraveny pro další práce. Vzhledem k obtížnému získávání materiálu bylo potřeba ho maximálně využít. Proto nebylo výjimkou, že se materiál po svaření opět rozdělil a znovu svařil.

Vzorek č.1 (Neum 70 - označení vzorků vyplývá z uložených dat v počítači)

Parametry svařování:

Tloušťka vzorku 4.5mm

Předehřev vzorku byl 200°C

Proud I[A]: 50mm-90A, 5mm-85A, 100mm-75A

Rychlost vs: 35Hz (3.1cm/min)

Průtok plynu 15l/min

Délka svaru 155mm

Šířka svaru 7mm(housenka)+propal

Pohled na líc svaru je na Obr. 4.4.3 a na kořen svaru na Obr. 4.4.4. Jsou zde vidět části I a II, v části II došlo ke snížení proudu. Svar byl ze strany kořene podložen tavidlem.

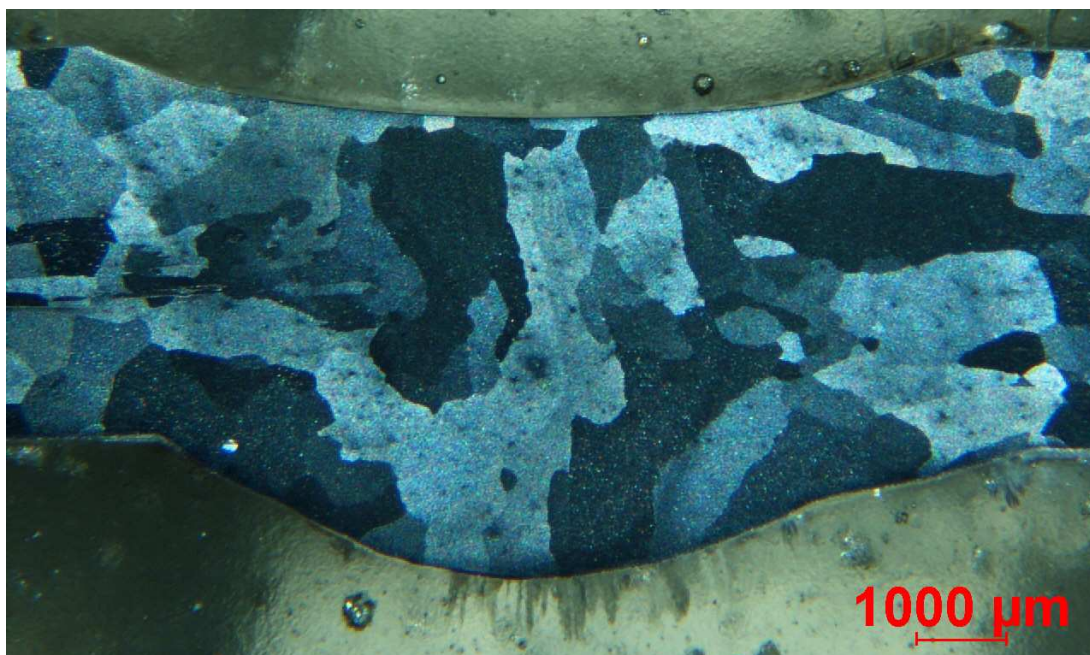


Obr. 4.4.3 Vzorek č.1 – líc svaru. Na obrázku je vidět značka, kde zhruba došlo ke snížení proudu.



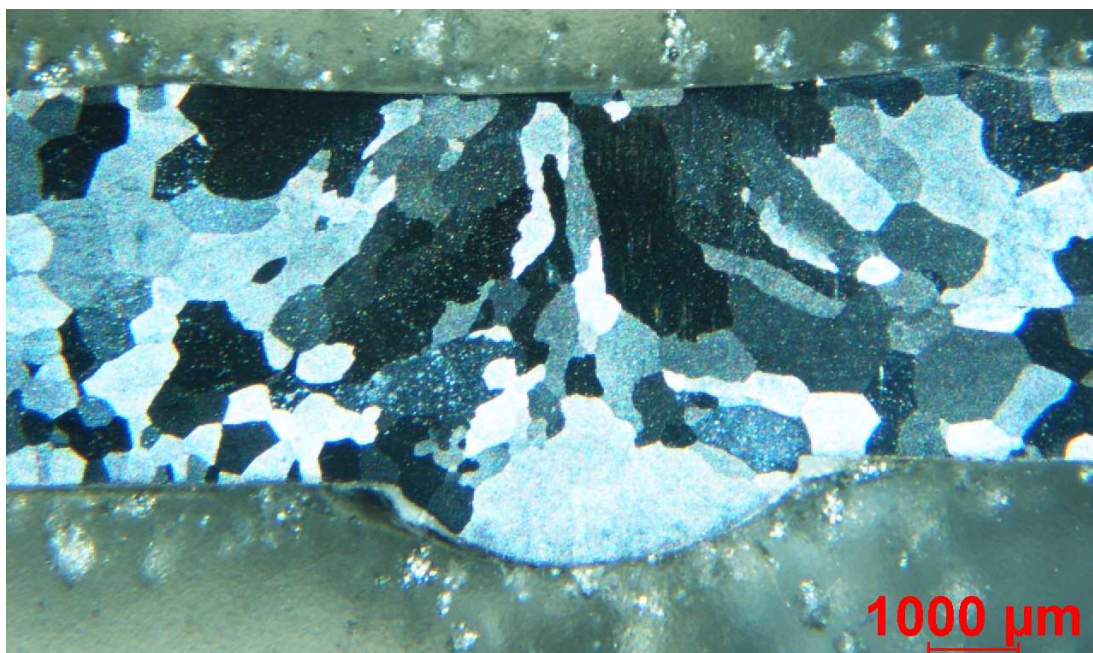
Obr. 4.4.4 Vzorek č.1 kořen. Na obrázku jsou vidět značky, kde zhruba došlo ke snížení proudu.

Průvar byl v celé délce svaru. Na Obr. 4.4.5 a na Obr. 4.4.6 jsou snímky makrostruktury svarů z míst označených červeně na Obr. 4.4.3. Na Obr 4.4.5 je vidět makrostruktura svaru v místě I. Další Obr. 4.4.6 zobrazuje makrostrukturu svaru z části II po snížení proudu. Z obrázků je vidět příznivý vliv změny proudu na geometrii svaru.



Obr. 4.4.5 Vzorek č.1 vrchní housenka řez z I

Stojí za pozornost zmínit, že není přímo vidět, kde končí tepelně ovlivněná oblast. Zrna ve svarovém kovu jsou přibližně stejná jak u ovlivněného, tak u neovlivněného základního materiálu, což je pro svary netypické.



Obr. 4.4.6 Vzorek č.1 vrchní housenka řez z II

Na obrázku 4.4.7 vidíme ukázkou snímaného záznamu hodnot proudu a napětí. Toto zobrazení nemá za účel ukázat vypovídající hodnoty, ale je zde patrné, jak se na záznamu ukáže snížení proudu prostřední zelená křivka. Bohužel, měřítko neumožní zobrazit záznam v potřebné velikosti.



Obr. 4.4.7 Ukázka záznamu snímaných hodnot proudu a napětí

Vzorek č.2 (Neum 71 - označení vzorků vyplývá z uložených dat v počítači)

Parametry svařování:

Tloušťka vzorku 4.5mm

Předehřev vzorku byl 400°C

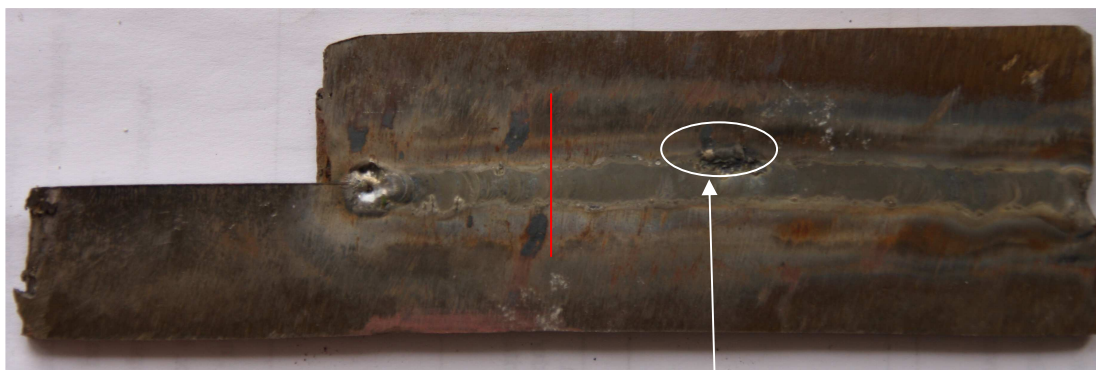
Proud $I[A]$: 75A

Rychlost vs: 50Hz (4.5cm/min)

Průtok plynu 15l/min

Délka svaru 110mm ,Šířka svaru 5mm

Pohled na realizovaný svar je vidět na Obr. 4.4.8 a na Obr. 4.4.9



Vada (vyplavené nečistoty)

Obr. 4.4.8 Vzorek č.2 – líc svaru,červeně zobrazeno místo řezu pro metalografický výbrus

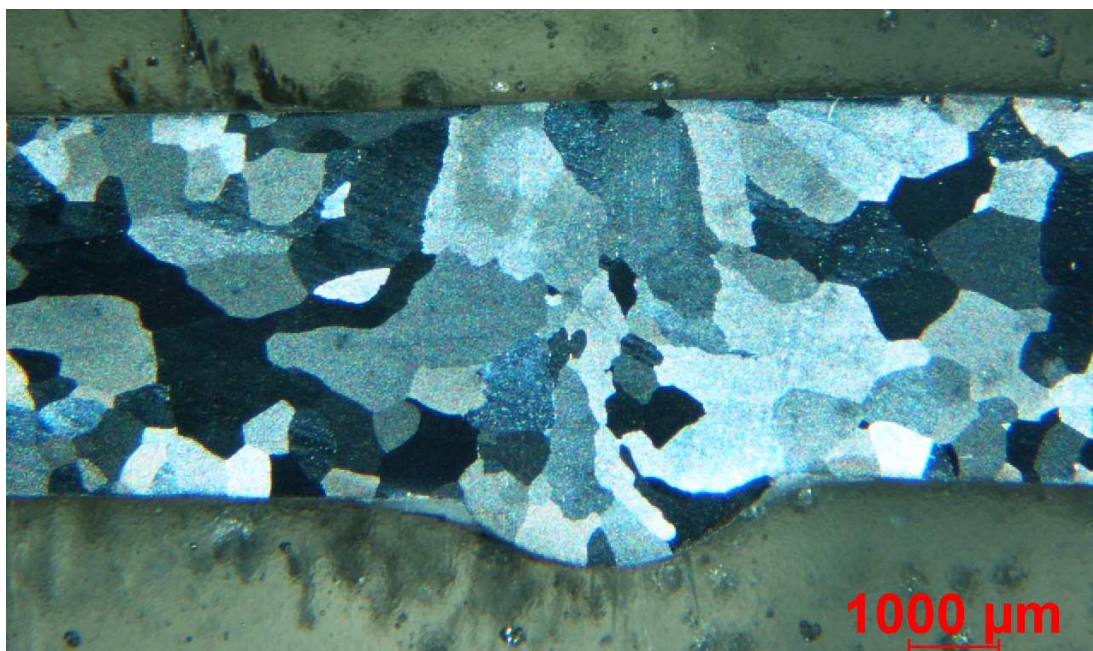


Obr. 4.4.9 Vzorek č. 2, kořen svaru

Jak je vidět, svařovací parametry nebyly zvoleny správně. Byl předpoklad, že předehřev na 400°C, bude vyžadovat značné zvýšení rychlosti svařování. Ta byla příliš vysoká a při daných parametrech jsme nezískali plný průvar. Úpravou daných parametrů nebude problém při tomto předehřevu průvar udělat. Je vidět i celkově užší housenka bez proláknutí povrchu svaru.

Na Obr. 4.4.8 je vidět uprostřed vada, vzniklá vyplavením nečistot napovrch povrchu.

Makrostruktura svaru č.2 je na Obr. 4.4.10. Svar je z hlediska geometrie velmi uspokojivý, není zde proláknutí a kořen má pravidelný tvar.



Obr. 4.4.10 Řez vzorkem č. 2

Vzorek č.3 (T1 - vzorek bez záznamu v PC)

Parametry svařování:

Tloušťka vzorku 3mm

Předehřev vzorku byl 200°C

Proud I[A]: 70A

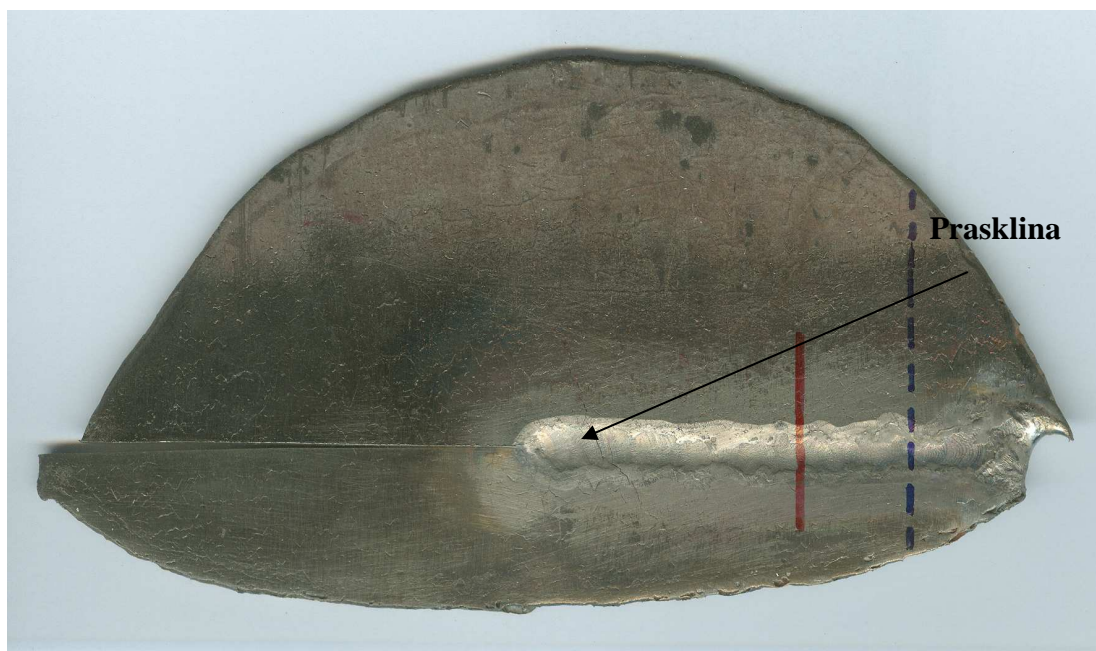
Rychlost vs: 45Hz (4cm/min)

Průtok plynu 15l

Délka svaru 70mm

Šířka svaru 6mm

Pohled na svar označený T1, který byl realizovaný na zbytku základního materiálu z konce vyválnovaného polotovaru. Je na Obr. 4.4.11 a Obr. 4.4.12.



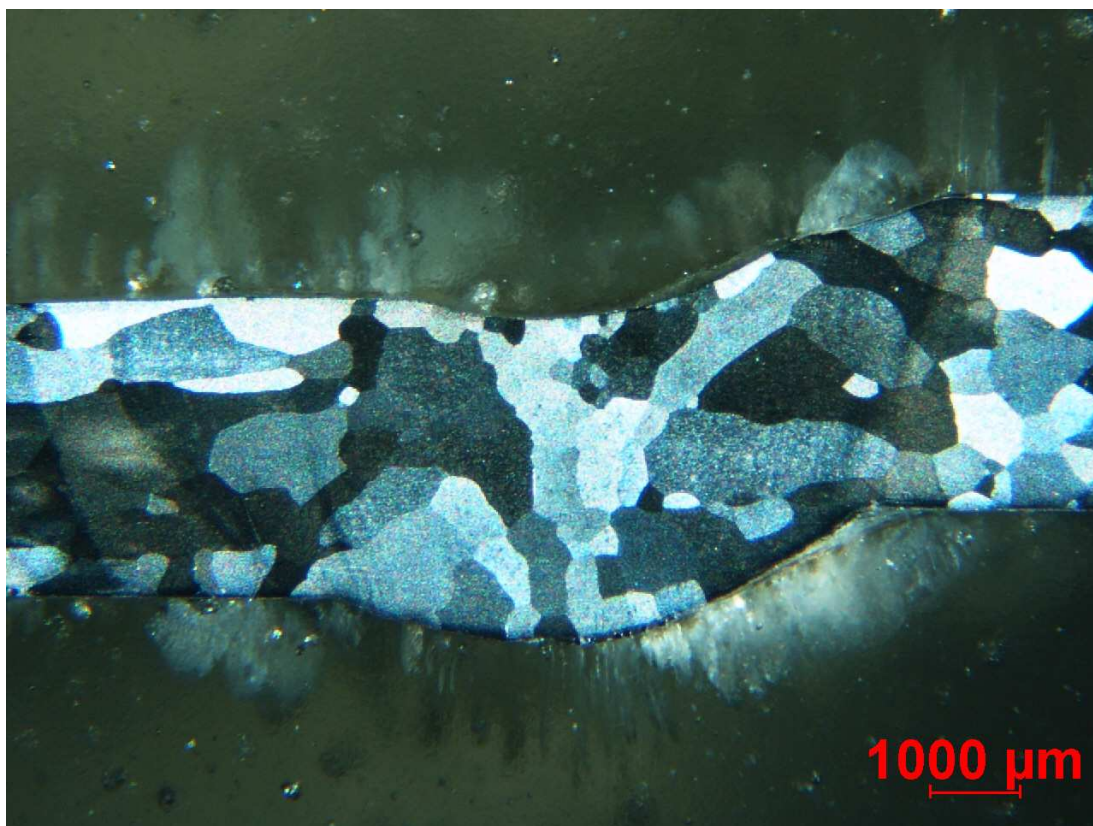
Obr. 4.4.11 Vzorek č.3 – líc svaru T1



Obr. 4.4.12 Vzorek č.3 – kořen svaru T1

Na Obr. 4.4.11 je i příčná trhlinka a místo pro odběr vzorků k metalografickému hodnocení (označeno červeně).

Na Obr. 4.4.13 je makrostruktura svaru vzorku T1. Svar je symetrický a je zde vidět, že je vzorek zkroucený.



Obr. 4.4.13 Makrostruktura svaru T1

Vzorek č.3 (T1) je realizován s použitím tavidla na ochranu kořene. Vzorky byly nestejně velké, a proto došlo k lehkému přizvednutí. Menší vzorek se nemohl upevnit upínkou, proto není svar až do konce. Ovšem parametry pro reprodukování svaru na stejné tloušťce nám zůstaly. Využili jsme je při svařování dalších vzorků už se záznamem do počítače.

Vzorek č.4 (Neum 78/79 - označení vzorků vyplývá z uložených dat v počítači)

Parametry svařování:

Tloušťka vzorku 7mm

Svár z obou stran Vrchní 78 a Spodní 79

Předehřev vzorku byl 400°C

Vrchní strana...

Proud I[A]: 90A

Čas startu: 14s

Rychlost vs: 30Hz (2.7cm/min)

Průtok plynu 15l/min

Délka svaru 130mm

Šířka svaru 8mm

Spodní strana...

Proud I[A]: 90A

Čas startu: 10s

Rychlost vs: 30Hz (2.7cm/min)

Průtok plynu 15l/min

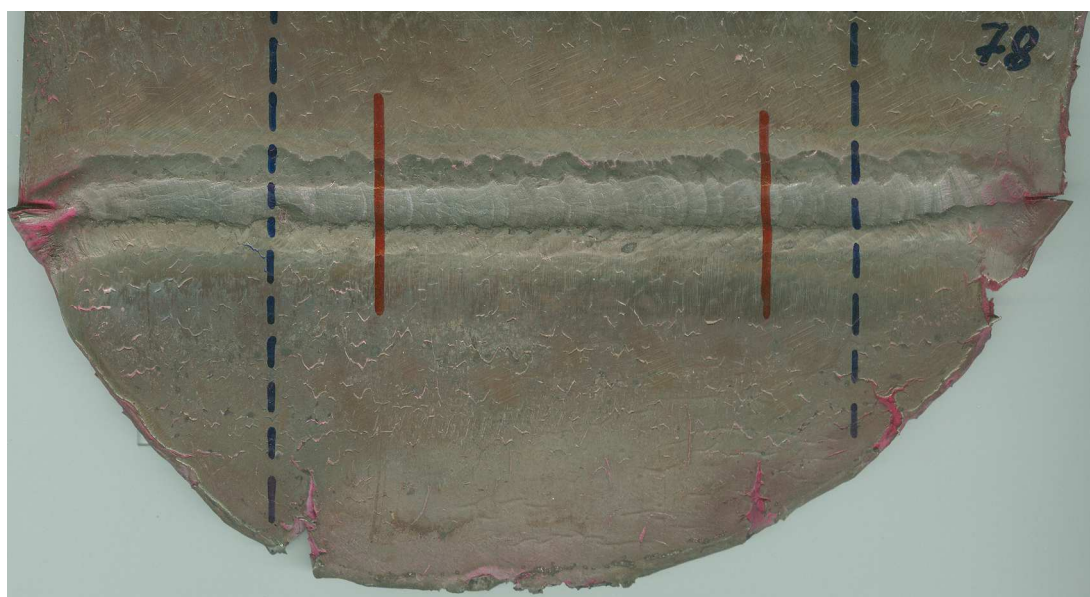
Délka svaru 130mm

Šířka svaru 8mm

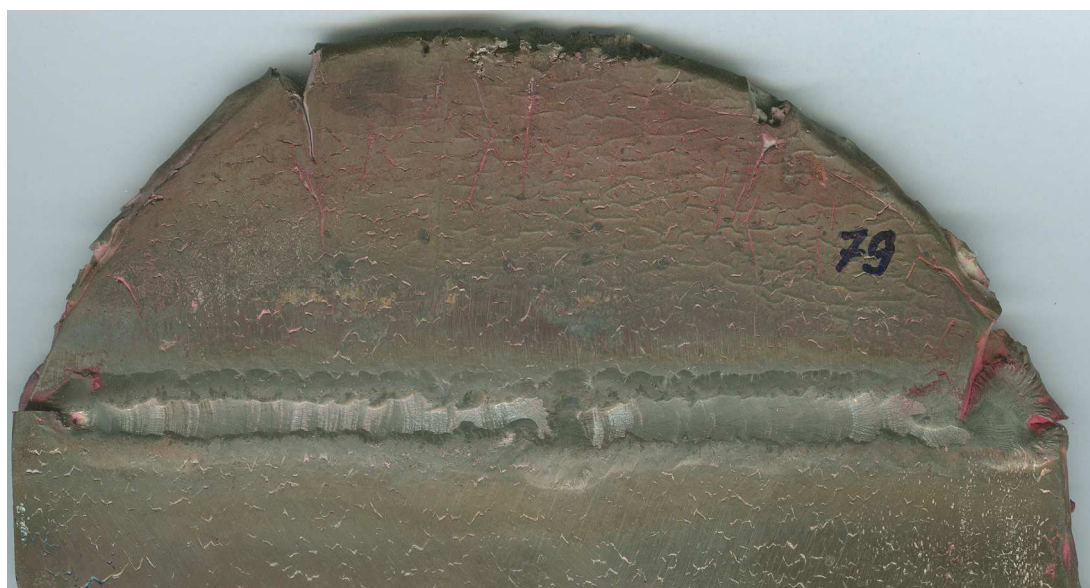
Čas otočení 2min 50s

Pohled na povrch a spodní stranu svaru vzorku č.4 je na Obr. 4.4.14 a Obr. 4.4.15.

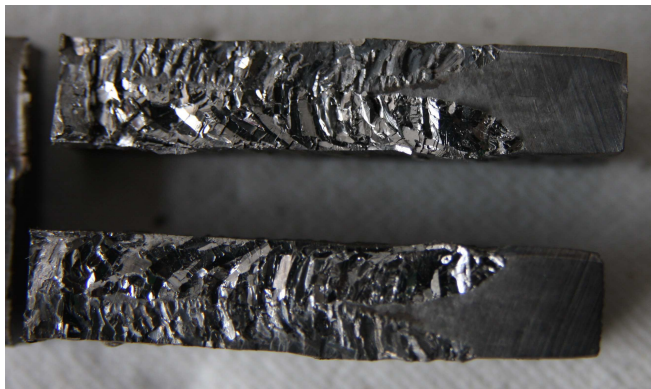
Na Obr. 4.4.16 je detail části svaru, který byl rozlomen pro posouzení závaru.



Obr. 4.4.14 Vzorek č.4 - vrchní housenka

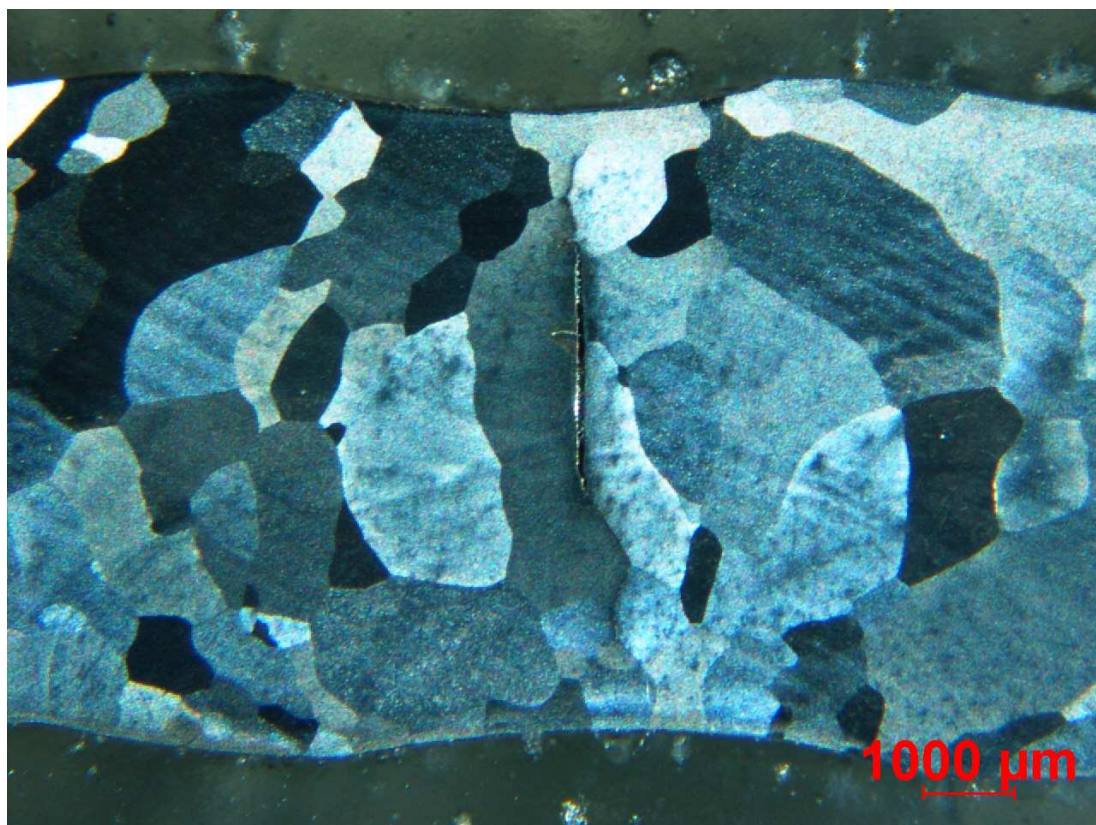


Obr. 4.4.15 Vzorek č.4 – spodní strana



Obr. 4.4.16 *Detail rozlomeného vzorku*

Na Obr. 4.4.17 je makrostruktura svaru č.4 u vzorku odebraného v místě označeném na Obr. 4.4.14 šipkou.



Obr. 4.4.17 *Vzorek č.4 řez I*

Svar byl realizován z obou stran, protože bez přídavného materiálu by nebylo možné pro uvedenou tloušťku zajistit provaření. Vzorek byl opět po svaření přesunut do pece předehřáté na 700°C . Ovšem jak je patrné na Obr. 4.4.17, nedošlo k plnému provaření.

Na vzorcích se provedla penetrační zkouška před i po svařování, abychom odhalili případné trhliny vznikající v důsledku svařování. Bylo zjištěno, že svar nevykazuje žádné trhliny vzniklé v důsledku svařování.

5. Závěr

Tato diplomová práce navazuje na výzkumné práce realizované v předchozích letech na katedře strojírenské metalurgie TU v Liberci. Základní materiál typu Fe_3Al byl připraven v rámci řešení grantu GAČR č. 106/07/1288. Základním úkolem mé diplomové práce bylo navrhnout a realizovat mechanizované svařovací pracoviště pro metodu 141, včetně přípravku pro upínání polotovarů a jejich předehřev. Předpokládalo se rovněž, že svařovací pracoviště bude vybaveno monitorovacím zařízením WeldMonitor 3.5 a pro všechny zhotovené svary bude k dispozici záznam časových průběhů základních veličin svařovacího procesu. Svařovací pracoviště bude určeno především pro realizaci svarů aluminidů železa.

Na základě předchozích zkušeností s realizací zkušebních svarů aluminidů železa na katedře strojírenské technologie je v práci proveden návrh, realizace a ověření funkčnosti celého pracoviště. Pracoviště je schopno zajistit reprodukovatelné podmínky pro vytváření zkušebních svarů, realizovat záznam svařovacích parametrů a rovněž zaznamenávat teplotní cykly ve čtyřech vybraných místech termočlánky NiCr – Ni a ve dvou místech termočlánky typu Pt – PtRh. Zařízení pro lineární posun hořáku je schopno plynule měnit rychlost svařování v rozmezí od 0 do 90 mm/min.

Během ověřovacích zkoušek se potvrdila vhodnost realizovaného pracoviště pro stanovené účely. Zvláštní pozornost byla věnována zejména problematice teplotního režimu vzorku během svařovacího procesu, předehřevu a monitorování procesu svařování, i následnému řízenému ochlazení svarku. Provedené experimenty potvrdily příznivý vliv předehřevů na kvalitu vytvořených svarů, byly získány podklady pro volbu svařovacích parametrů a podklady pro simulační výpočty v programu SYSWELD.

Potvrdilo se, že experimentální pracoviště v realizované podobě umožňuje provedení uspokojivých svarů i na tak technologicky choulostivém materiálu, jako jsou aluminidy železa. I přes to, že k dispozici bylo jen velmi omezené množství materiálu, podařilo se zjistit vhodné svařovací parametry pro svařování v tloušťce od 3mm do 7mm v poloze PA (svislé shora) u koutových a tupých svarů. Kvalita svarů byla hodnocena vizuálně, penetrační zkouškou a metalografickým rozbořem. Podrobnější zkoumání kvality svarů, popřípadě její závislost na změnách parametrů svařování bude předmětem dalších navazujících prací.

6. Seznam použité literatur

- [1] Kolektiv autorů. Technologie svařování a zařízení. 1 vydání vydalo nakladatelství ZEROSS v Ostravě v edici Svařování. Ostrava srpen 2001 395 s. ISBN 80-85771-81-0.
- [2] Kolektiv autorů. Materiály a jejich svařitelnost. 2. upravené vydání, vydalo nakladatelství ZEROSS v Ostravě v edici Svařování. Ostrava leden 2001. ISBN 80-85771-85-3.
- [3] ŠEDIVÁ, I. *Vlastnosti slitin Fe₂₈Al₁₄Cr z hlediska použití za vysokých teplot* [s.1.], 2003. 89 s. TU v Liberci, Fakulta strojní. Dizertační práce.
- [4] Kolektiv autorů. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování. 1. vydání, vydalo nakladatelství ZEROSS v Ostravě v edici Svařování. Ostrava únor 2000. ISBN 80-85771-72-1.
- [5] Ing. Zdeněk Hudec. Deformace a napětí při svařování. 1. vydání, vydalo TU v Liberci. Liberec 1998. ISBN 80-7083-313-0
- [6] NEUMANN, H. – MORAVEC, J.: Hodnocení svařitelnosti aluminidu železa typu Fe₃Al s využitím simulačního programu SYSWELD, In: ZVÁRANIE 2005, [Sborník přednášek], Tatranská Lomnica, 2005, str. 17-22, ISBN 80-969393-1-9
- [7] KRATOCHVÍL, P. - NEUMANN, H.: Struktura a vlastnosti WIG svarů aluminidu typu Fe₃Al. In.: Nové materially, technologie a zařízení pro svařování, [Sborník přednášek] 2005, ČSÚ s.r.o. Ostrava a VŠB-TU Ostrava, 2005, ISBN 80-248-0898-6
- [8] Svařování hliníku a jeho slitin, vydalo SVV Praha s.r.o., Svářečský, vývojový a výukový ústav, duben 2006

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména §60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická Univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnuli licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Declaration

I have been notified of the fact Copyright Act No. 121/2000 Coll. Applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I have fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basic of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date

Signature